



Departamento
de Engenharia Mecânica

**Atividades no Contexto da Melhoria de Processos
Conducentes à Execução de Produtos Técnicos e de
Decoração em Materiais Cerâmicos**

Relatório de estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Autor

Pedro Miguel Gonçalves Seiça

Orientador

Prof. Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, março, 2019

Agradecimentos

Agradeço ao professor Luís Roseiro, por toda a ajuda e acompanhamento prestados do início ao fim do meu percurso académico.

Ao engenheiro Paulo Eliseu e ao engenheiro João das Neves, pela oportunidade de estágio na sua empresa e pelo acompanhamento, abertura e transmissão de conhecimentos.

Ao professor Torres Farinha, por toda a disponibilidade e transmissão de conhecimentos no decorrer do estágio.

À minha família e amigos de sempre, que são uma extensão da minha alma.

Aos meus pais, por serem o melhor “copiloto” que podia ter na vida.

A todos com os quais me cruzei e que de uma forma ou de outra, foram e são o “combustível” que me trouxe até aqui.

E ao ISEC... por tudo!

“Recomeça... se puderes, sem angústia e sem pressa. E os passos que deres, nesse caminho duro do futuro, dá-os em liberdade. Enquanto não alcances não descanses. De nenhum fruto queiras só metade. E, nunca saciado, vai colhendo ilusões sucessivas no pomar e vendo acordado, o logro da aventura. És homem, não te esqueças. Só é tua a loucura onde, com lucidez, te reconheças.”

(Miguel Torga)

Dedicatória

À minha avó Celeste.

Resumo

O documento que se apresenta enquadra-se no âmbito da unidade curricular Estágio, correspondente ao segundo ano de Mestrado em Engenharia Mecânica, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, ramo de especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos.

O estágio decorreu na empresa Ideias & Detalhes, situada na Mealhada. Esta empresa produz peças técnicas e de decoração, principalmente para a indústria cerâmica, mas também para outras áreas, nomeadamente, indústria de mármore, granitos, entre outros, recorrendo a técnicas serigráficas, processos de corte e processos de deposição física de vapor.

Uma das atividades desenvolvidas durante o estágio, definida como objetivo principal, visou a melhoria da componente de manutenção associada aos equipamentos da empresa. Neste sentido, foram estudados e estabelecidos os passos necessários para o cálculo de indicadores de manutenção. Outra atividade envolveu a participação em trabalhos no âmbito do processo de deposição física de vapor, uma metodologia de revestimento de materiais, nomeadamente na verificação e correção de equipamentos associados a esta técnica. Por último, houve a participação em algumas tarefas do projeto Light In Tiles, que tem o objetivo de integrar tecnologias de iluminação baseadas LED (Light Emitting Diode) em componentes cerâmicos.

As três atividades decorreram em paralelo, optando-se por incluir neste relatório a descrição sumária dos trabalhos desenvolvidos, suportada em elementos teóricos associados a cada uma delas.

Palavras-Chave: Manutenção; PVD; Light in Tiles

Abstract

This document is the final part of the internship, corresponding to the second year of the Master's Degree in Mechanical Engineering, specialization in the Construction and Maintenance of Mechanical Equipment, from Coimbra Institute of Engineering.

The internship was held at Ideias & Detalhes, located in Mealhada, Portugal. This company produces technical and decorative components, mainly for the ceramic industry, but also for other areas, based on marble, granite, among others, using serigraphic techniques, cutting processes and physical vapor deposition processes.

One of the activities developed during the internship, defined as the main objective, aimed to improve the maintenance component associated with some of company's equipment. In this sense, the necessary steps for the calculation of maintenance indicators were studied and established. Another activity involved the participation in works in the scope of the physical vapor deposition process, a method of coating materials, namely in the verification and correction of some equipment associated with this technique. Finally, there was a participation in some tasks of the Light In Tiles project, which aims to integrate LED-based lighting technologies (Light Emitting Diode) into ceramic components.

The three activities took place in parallel. This report describes a brief description of the work developed in each activity, supported by theoretical elements associated to each of them.

Keywords: Manutenção; PVD; Ligth in Tiles

Índice

| | |
|---|-----------|
| DEDICATÓRIA | V |
| RESUMO | vii |
| ABSTRACT | IX |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIII |
| ÍNDICE DE TABELAS | XVI |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS | XVII |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. A empresa Ideias & Detalhes | 3 |
| 3. Projeto LIT (Light In Tiles) | 7 |
| 3.1. O Projeto LIT | 7 |
| 3.2. Geometria 3D do Modelo Teste | 10 |
| 3.3. Norma a Considerar | 12 |
| 3.4. Modelo Numérico | 12 |
| 4. Processo PVD (Deposição Física de Vapor) | 21 |
| 4.1. O processo PVD | 21 |
| 4.2. Deposição por Evaporação | 25 |
| 4.3. Deposição por Pulverização (“Sputtering”) | 31 |
| 4.4. Deposição por Arco Catódico | 36 |
| 4.5. Atividades desenvolvidas no âmbito do processo PVD | 40 |
| 4.5.1. Componentes da câmara de PVD | 40 |
| 4.5.2. Sequência do processo para obtenção de vácuo | 50 |
| 4.5.3. Reparação da câmara onde se realiza o processo PVD | 51 |
| 5. Manutenção | 55 |
| 5.1. Conceitos de Manutenção | 55 |
| 5.1.1. O que é a Manutenção? | 55 |
| 5.1.3. Evolução histórica da Manutenção | 56 |
| 5.1.4. Modelo de Manutenção TPM (Total Productive Maintenance) | 57 |
| 5.1.5. Modelo de Manutenção RCM (Reliability Centered Maintenance) | 60 |
| 5.1.6. Tipos de Manutenção | 61 |
| 5.1.7. Níveis de Manutenção | 64 |
| 5.1.8. Conceito de Bem, Falha e Avaria | 67 |
| 5.1.9. Conceito de Plano de Manutenção e Ordem de Trabalho | 68 |
| 5.1.10. Indicadores de Manutenção | 69 |
| 5.2. Atividades desenvolvidas no domínio da Manutenção | 73 |
| 5.3. Melhorias a implementar | 74 |

| | |
|--|------------|
| 5.3.1. Manutenção Sistemática Diária (Manutenção de 1º Nível) | 77 |
| 5.3.2. Manutenção Sistemática Periódica | 81 |
| 5.3.3. Manutenção não Planeada | 87 |
| 5.3.4. Indicadores de Manutenção | 92 |
| 6. Conclusões | 97 |
| 7. Referências Bibliográficas | 99 |
| ANEXOS | 105 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Exemplo de aplicação da técnica de serigrafia..... | 5 |
| Figura 2. Produto obtido a partir da técnica de corte por jato de água | 5 |
| Figura 3. Vista aérea da empresa Ideias & Detalhes | 6 |
| Figura 4. Furação dos azulejos na máquina de jato de água | 8 |
| Figura 5. Modelo real: a) grés porcelânico; b) monoporosa | 9 |
| Figura 6. Base do modelo real..... | 9 |
| Figura 7. Modelo real com LED embutido..... | 10 |
| Figura 8. Efeito visual obtido a partir dos testes efetuados no ISEC..... | 10 |
| Figura 9. Geometria do modelo do azulejo, com vista de cima (esquerda), vista de baixo com sulcos (direita) e espessura. Dimensões em milímetros | 11 |
| Figura 10. Geometria do modelo do azulejo, com vista dos rasgos e da geometria do rebaixo (dimensões em milímetros) | 11 |
| Figura 11. (a) Visualização 3D esquemática do teste a implementar; (b) Vista frontal esquemática do teste (em milímetros) | 12 |
| Figura 12. Elemento tetraédrico parabólico1..... | 13 |
| Figura 13. Condição de carga imposta ao modelo | 13 |
| Figura 14. Condição de fronteira imposta ao modelo..... | 14 |
| Figura 15. Curva de convergência Deslocamento em função do nº de elementos (modelo referência) | 14 |
| Figura 16. Curva de convergência e tabela de resultados para o modelo com rasgos | 15 |
| Figura 17. Distribuição das tensões de von Mises para: (a) Modelo de referência; (b) Modelo com rasgos .. | 16 |
| Figura 18. Distribuição dos deslocamentos resultantes: a) Modelo de referência; b) Modelo com rasgos | 16 |
| Figura 19. Isovalores de tensão de von Mises superiores a 35 MPa..... | 17 |
| Figura 20. Valor da tensão máxima de von Mises e deslocamento resultante máximo para as variações da profundidade e raio de concordância dos rasgos | 18 |
| Figura 21. Isovalores de tensão de von Mises | 18 |
| Figura 22. Fases do processo PVD..... | 22 |
| Figura 23. Aplicações, materiais de revestimento e de substrato, usados no processo PVD..... | 22 |
| Figura 24. Aplicações de PVD. (1) prótese www.ceramed.pt 2; (2) decoração/indústria automóvel www.redspot.com 3; (3) revestimento de ferramentas de corte www.destinytool.com 4; 4-indústria aeronáutica www.coatingsolutions.saint-gobain.com 5; 5-microeletrónica www.azom.com 6; 6-indústria automóvel www.metalilux.com 7 | 24 |
| Figura 25. Etapas de deposição por evaporação | 25 |
| Figura 26. “resistive boat”. www.angstromengineering.com 8 | 26 |
| Figura 27. (1) e (2), esquemas do processo de evaporação térmica resistiva (www.semicore.com 9; https://stuff.mit.edu/afs/athena.mit.edu/course/3/3.082/www/team2_f02/Pages/processing.html 10) | 26 |
| Figura 28. Evaporação térmica resistiva através de uma resistência (adaptado de: Thin Film Deposition. Prof. Doutor Ir.Djoko Artanto MSc. Electrical Engineering Department, Faculty of engineering univesity of Indonesia. February 14, 200311) | 27 |

| | |
|---|----|
| Figura 29. Evaporação por feixe de elétrons (adaptado de: www.tungsten.com 12) | 27 |
| Figura 30. Evaporação por feixe de elétrons (https://en.wikipedia.org 13) | 28 |
| Figura 31. Dispositivos usados no processo de evaporação por feixe de elétrons, para colocação do material a evaporar (1) e (2) www.jeol.co.jp 14,15; (3) www.ajaint.com 16 | 28 |
| Figura 32. Processo de deposição por evaporação, por feixe de elétrons (adaptado de: www.jeol.co.jp 17) | 29 |
| Figura 33. Material de revestimento. (1) nióbio; (2) alumínio; (3) ouro; (4) molibdénio (www.lesker.com 18,19,20,21) | 29 |
| Figura 34. (1) acabamento em dourado do iPhone XS Gold www.apple.com 23 ; (2) filme PET metalizado www.petfilmfoil.com 24 | 31 |
| Figura 35. Fases da deposição por pulverização | 32 |
| Figura 36. Pulverização autossustentada. www.oxford-vacuum.com 25 | 32 |
| Figura 37. Deposição por pulverização. www.samaterials.com 26..... | 32 |
| Figura 38. Processo de pulverização com gás reativo (no caso, oxigénio). (http://Inf-wiki.eecs.umich.edu/wiki/Sputter_deposition 27, pela Universidade de Michigan)..... | 33 |
| Figura 39. Comparação entre bom step coverage e mau step coverage (NE 343: Microfabrication and thin film technology. Instructor: Bo Cui, ECE, University of Waterloo; http://ece.uwaterloo.ca/~bcui/ . Text book: Silicon VLSI Technology by Plummer, Deal and Griffin)28 | 34 |
| Figura 40. Tipos de targets (1) TiAl www.plansee.com 29; (2) prata www.lesker.com 30; (3) nióbio portuguese.tantalumnioibium.com 31; (4) formatos de targets www.magnetstek.com 32 | 35 |
| Figura 41. Aplicações do processo de deposição por pulverização (1) indústria da energia renovável (painéis solares) www.sputteringcomponents.com 33; (2) Rolamento com esferas toroidais, com revestimentos de material NoWear de baixa fricção http://www.skf.com 34 | 35 |
| Figura 42. Fases da deposição por arco catódico | 37 |
| Figura 43. Processo de deposição por arco catódico. www.advancedenergyblog.com 35..... | 37 |
| Figura 44. (1) alvo de tântalo http://pt.target-sputtering.com 36; (2) alvo de crómio http://www.pvdtarget.com 37..... | 38 |
| Figura 45. (1) ferramenta da corte www.enduracoatings.com 38; (2) peças decorativas e utensílios domésticos www.royal-source.com 39 | 39 |
| Figura 46. Câmara onde se realiza o processo PVD na empresa | 40 |
| Figura 47. Esquema da disposição dos componentes que participam no processo PVD | 41 |
| Figura 48. Bomba primária | 42 |
| Figura 49. Bomba de alhetas (transporte do fluido no interior da bomba) https://pt.slideshare.net/LucasCR12/grupo-de-acionamento 40..... | 42 |
| Figura 50. Bomba Roots | 43 |
| Figura 51. Princípio de funcionamento da bomba Roots. http://supervacindustries.blogspot.com 41 | 43 |
| Figura 52. Bomba difusora. https://vacaero.com 42 | 43 |
| Figura 53. Bombas difusoras (1 e 2) usadas na empresa..... | 44 |
| Figura 54. Exemplo de um aquecedor de óleo circular. www.leybold.com 43 | 44 |
| Figura 55. Exemplo de um aquecedor de óleo longitudinal. www.leybold.com 44..... | 44 |
| Figura 56. Princípio de funcionamento de uma bomba difusora. www.leybold.com 45 | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 57. Inline baffle. www.idealvac.com ⁴⁶ | 46 |
| Figura 58. Bomba difusora (no topo da bomba encontra-se o inline baffle). Adaptado de: www.tungsten.com ⁴⁷ | 46 |
| Figura 59. (1) e (2) Foreline baffle aplicado no tubo de escape. www.idealvac.com ^{48,49} | 46 |
| Figura 60. (1) válvula Gate 1; (2) válvula Gate 2 | 47 |
| Figura 61. Princípio de funcionamento de uma válvula do tipo Gate (abertura e fecho). https://techblog.ctgclean.com ⁵⁰ | 47 |
| Figura 62. (1) Válvula de baixo vácuo (válvula de borboleta) e (2) Válvula geral (válvula de borboleta) | 48 |
| Figura 63. Mecanismo de uma válvula de borboleta. www.interválvulas.com.br ⁵¹ | 48 |
| Figura 64. (1) e (2) Válvulas de alto vácuo 1 e 2 (válvulas de diafragma) | 49 |
| Figura 65. Válvula de descarga (válvula de diafragma) | 49 |
| Figura 66. Princípio de funcionamento da válvula de diafragma. Adaptado de: http://hvac-system-basics.blogspot.com ⁵² | 50 |
| Figura 67. Componentes intervenientes na fase de baixo vácuo e seu “estado” durante o mesmo | 50 |
| Figura 68. Componentes intervenientes na fase de alto vácuo e seu “estado” durante o mesmo | 51 |
| Figura 69. Comparação entre peça com cor anómala e peça com cor pretendida | 52 |
| Figura 70. Detetor de fugas (Helium Leak Detector) | 52 |
| Figura 71. Revestimento do cordão de soldadura com resina epóxica | 53 |
| Figura 72. Importância da Manutenção (adaptado de Fertuzinhos 2013) | 56 |
| Figura 73. Conceito de TPM (adaptado de Raminhos 2010) | 58 |
| Figura 74. Tipos de Manutenção | 61 |
| Figura 75. Curativa vs. Paliativa (adaptado de: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60372/1/000134625.pdf) | 63 |
| Figura 76. Causas que poderão influenciar o OEE, (adaptado de Raminhos 2010) | 72 |
| Figura 77. Folha de Assistência | 75 |
| Figura 78. Tipos de manutenção que poderão vir a ser implementados | 76 |
| Figura 79. Fluxograma da manutenção de 1º nível | 78 |
| Figura 80. Modelo proposto para plano de manutenção de 1º Nível | 80 |
| Figura 81. Plano de manutenção/O.T. periódica (actual), para controlo da execução das tarefas | 82 |
| Figura 82. Plano de manutenção/O.T. periódica (actual), para controlo dos tempos das tarefas | 83 |
| Figura 83. Verificação da existência de peças de reserva | 84 |
| Figura 84. Fluxograma da manutenção sistemática periódica | 85 |
| Figura 85. Modelo de plano de manutenção/O.T. proposto, para manutenção sistemática periódica | 86 |
| Figura 86. Parâmetros necessários ao cálculo de indicadores de manutenção | 88 |
| Figura 87. Verificação de peças de reserva para execução de O.T. da Man. não planeada | 90 |
| Figura 88. Fluxograma da manutenção não planeada | 90 |
| Figura 89. Modelo de ordem de trabalho proposto, para a manutenção não planeada | 91 |
| Figura 90. Parâmetros envolvidos no cálculo do MTBF | 92 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Resultados obtidos para o azulejo com rasgos (modelo 1)..... | 15 |
| Tabela 2. Resumo comparativo entre a evaporação térmica resistiva e a evaporação por feixe de elétrons (adaptado de: <i>Coating Technology: Evaporation Vs Sputtering</i> . Gianni Monaco, PhD R&D project manager, Satisloh Italy 04.04.2016 V1) ²² | 30 |
| Tabela 3. Comparação entre os três processos | 39 |
| Tabela 4. Etapas da história da Manutenção | 57 |
| Tabela 5. Matriz GUT | 89 |
| Tabela 6. Cálculo do fator Disponibilidade (adaptado de Raminhos 2010) | 94 |
| Tabela 7. Cálculo do fator eficiência (adaptado de Raminhos 2010)..... | 95 |
| Tabela 8. Cálculo do fator Qualidade (adaptado de Raminhos 2010)..... | 95 |

Índice de Abreviaturas

| | |
|------|-------------------------------------|
| ID | Ideias & Detalhes |
| LED | Light Emitting Diode |
| LIT | Light In Tiles |
| MTBF | Tempo Médio de Bom Funcionamento |
| MTTR | Tempo Médio de Reparação de Avarias |
| MWT | Tempo Médio de Espera |
| OEE | Eficiência Global do Equipamento |
| OLED | Tecnologia de exibição |
| PVD | Deposição física de vapor |
| SGS | Société Générale de Surveillance |
| UV | Ultravioleta |

1. Introdução

O mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, ramo de especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos, no segundo ano, envolve a possibilidade de realizar uma dissertação, trabalho de projeto ou estágio. A opção foi pela realização de um estágio, tendo o mesmo decorrido na empresa Ideias & Detalhes (ID), que se situa na zona industrial da Mealhada. Esta empresa está ligada à produção de componentes técnicas e de decoração, maioritariamente para a indústria cerâmica. Esta empresa atua na transformação de diversos tipos de materiais, para implementação em diversas áreas, da decoração ao restauro, passando pela arquitectura e construção, entre outros domínios. A empresa dispõe de um conjunto de equipamentos e metodologias associadas à implementação de várias técnicas que utiliza na criação dos seus produtos, desde serigrafia, cortes a jato de água ou areia, retificação e boleamento, até ao processo PVD (deposição física de vapor).

A realização do estágio envolveu um conjunto de objetivos que foram definidos inicialmente. Dada a abrangência da empresa, a primeira etapa envolveu o conhecimento da mesma, a sua forma de trabalhar, assim como os equipamentos e metodologias usadas no processo produtivo. Esta apresentação sucinta da ID é descrita no capítulo 2.

Um dos trabalhos desenvolvidos durante o estágio esteve ligado a um projeto em que a empresa está envolvida com o ISEC, designado por Light In Tiles (LIT), que passa por desenvolver uma solução de iluminação embebida em componentes cerâmicos, com conexão elétrica simples e rápida entre elementos que contenham iluminação integrada, e capaz de ser controlada.

A participação neste projeto passou inicialmente pela modelação 3D, no software Solidworks, de um modelo de azulejo ao encontro do pretendido, nomeadamente a necessidade de embutimento de luz LED (light emitting diode) e passagem de fios na base do azulejo, e posteriormente a conceção dos modelos físicos, executados na máquina de jato de água por um técnico da empresa. Tendo em conta que a preparação do azulejo envolvia a execução de rasgos, foram desenvolvidos modelos numéricos baseados no método dos

elementos finitos, com recurso ao software Solidworks, para estimar o comportamento comparativo do azuleja, com e sem rasgos. Assim, o capítulo 3 descreve os modelos 3D e simulações numéricas implementadas no contexto do projeto LIT, assim como os componentes reais produzidos na empresa.

Durante a realização do estágio, houve o contacto com o processo PVD, atividade que se desenvolve na empresa Densus Coating Lda, pertencente à ID. O PVD é um processo de deposição de material de revestimento usada na empresa com objetivos decorativos. Tendo em conta que à data de início de estágio o sistema onde se implementa esta técnica vinha a evidenciar alguns problemas, houve um envolvimento nos trabalhos de reparação, nomeadamente nas tarefas diárias que se sucediam, como por exemplo a deteção de fugas na câmara de vácuo. O capítulo 4 aborda a componente de estágio ligada ao processo PVD. Inicialmente resumem-se as técnicas de PVD mais usadas na indústria, onde se insere a técnica de deposição por arco catódico (técnica aplicada na empresa), descrevendo-se igualmente os passos dados na ajuda à resolução da anomalia verificada na câmara de vácuo PVD.

Tendo em conta os diversos equipamentos usados na empresa, e dadas as possibilidades de contribuição enquanto estagiário, foi definido em conjunto com os responsáveis pelo acompanhamento do estágio um objetivo principal de contribuir para a implementação de ajustes e melhorias nos procedimentos de manutenção atualmente em vigor, tornando-os mais eficientes. Este aumento de eficiência ao nível da manutenção, passaria, em muito, pela introdução do cálculo de indicadores de manutenção. Assim, o capítulo 5 descreve inicialmente uma abordagem teórica relativamente à manutenção, e posteriormente os passos dados para a definição dos indicadores de manutenção a ser calculados, propondo-se modelos de planos de manutenção e ordens de trabalho, ferramentas imprescindíveis ao cálculo de indicadores. Este trabalho foi implementado tendo como referência um equipamento “piloto” – a máquina de jato de água, por se considerar um dos equipamentos mais importantes da empresa.

O capítulo 6 enumera as conclusões relativamente aos trabalhos realizados durante o estágio.

2. A empresa Ideias & Detalhes

A empresa Ideias & Detalhes, Lda. (ID) foi fundada em dezembro de 2010, com sede social na Mealhada, na Zona Industrial da Pedrulha, Lt 2, Casal-Comba. Iniciou a sua atividade em 2011. A base da ID resultou de uma conjugação de ideias de duas outras empresas já existentes, a FUTURCER e a RECRIA.

A empresa FUTURCER foi criada em 1987 e dedicou-se inicialmente à produção de decoração serigráfica em cerâmica, incluindo a pintura manual de painéis cerâmicos. No ano de 2001 foi adquirida pelos atuais responsáveis da ID, tendo iniciado uma fase mais dinâmica de crescimento e de penetração no mercado. Possui uma grande experiência e tradição no mercado da transformação de produtos cerâmicos destinados a revestimentos e pavimentos. Ao longo dos anos, como resultado do investimento no desenvolvimento de novos produtos e técnicas de produção, esta empresa evoluiu, obtendo o know-how e as capacidades técnicas e humanas necessárias para a utilização de diferentes tecnologias, permitindo a elaboração de produtos feitos à medida das solicitações do mercado e das necessidades e vontade dos seus clientes. Em 2004 surgiu a empresa RECRIA, que veio introduzir um conjunto de técnicas, nomeadamente ao nível das tecnologias de corte, que a FUTURCER não possuía, vindo dessa forma a alargar as opções de produção.

Estas duas empresas tornaram-se complementares, dedicando-se à transformação de produtos cerâmicos, entre outros, maioritariamente para utilização em pavimentos e revestimentos. Na prática, a empresa recebe os mosaicos em bruto e efetua operações sobre eles, transformando-os no produto final requerido pelo cliente.

Ao longo dos anos, estas empresas desenvolveram outro tipo de aplicações desta tipologia, introduzindo novos materiais (metal, metais nobres como o ouro e a platina, madeira, vidro, pedra natural, entre outros), alargando assim a sua capacidade de envolvimento.

Em 2011, resultado da necessidade de otimizar os processos produtivos e uma vez que as duas empresas efetuavam atividades complementares, foi criada a empresa Ideias & Detalhes, Lda., que passou a conjugar todas as atividades desenvolvidas pelo grupo. Também em 2011, foi concretizado o projeto de mudança de instalações para um edifício construído de raiz, adequado à dimensão da atividade da empresa, o que permitiu alargar as tecnologias disponíveis, permitindo abranger um leque mais alargado de mercados alvo.

A ID dedica-se à execução de produtos técnicos e de decoração de materiais cerâmicos, entre outros, principalmente para pavimento e revestimento, através da utilização de técnicas serigráficas, revestimento através do processo PVD (deposição física de vapor; em inglês, physical vapor deposition), corte linear, corte por jato de água, jato de areia, retificação, chanfragem e boleamento, entre outras. A ID transforma produtos de base, produzidos pelos seus clientes, dando origem a peças exclusivas de decoração de espaços, em particular para pavimentos e revestimentos.

A ID atua na transformação de diversos tipos de materiais (pedra, metal, vidro, cerâmica, etc.) que se destinam a diversas aplicações em áreas distintas, como a publicidade, a decoração, arquitetura, construção ou restauro. Do conjunto de competências adquiridas, a empresa disponibiliza aos seus clientes os seguintes serviços / atividades:

- Projeto;
- Conceção e design;
- Prototipagem;
- Produção de pequenas séries;
- Desenvolvimento e produção de peças exclusivas;
- Acompanhamento em obra.

Embora a principal fonte de atividade seja a realização de produtos de pavimento e revestimento para a construção (com ligação às maiores empresas nacionais do sector), que são depois aplicados nos edifícios, espaços comerciais, empresas, entre outros, o alargamento das tecnologias e *know-how* disponíveis permite alargar os horizontes da empresa e diversificar a oferta de soluções com base na política de criação de soluções à medida do cliente. A empresa disponibiliza soluções, através das suas áreas de design e de investigação e desenvolvimento, em parceria com os seus clientes, para a produção de soluções que poderão ser desenvolvidas, conforme as necessidades do cliente.

A ID desenvolve os seus produtos a partir de um conjunto de técnicas, que podem ser resumidamente descritas:

- Decorações: trata-se de serigrafar sobre a matéria-prima, com a utilização de diversos materiais, nomeadamente, vidro, lustres, etc. (a Figura 1 mostra um exemplo de aplicação da técnica de serigrafia);



Figura 1. Exemplo de aplicação da técnica de serigrafia

- Corte linear: execução de corte lineares (horizontais ou verticais) na peça;
- Corte por jato de água: técnica que permite a realização de cortes não lineares nas peças cerâmicas, pedra natural, vidro, ferro ou outro material. Na prática permite o corte sob qualquer desenho de forma a construir conjuntos determinados e que quando aplicados em conjunto no espaço a que se destinam, refletem o ambiente projetado (a forma da Figura 2 é um exemplo de aplicação desta técnica);



Figura 2. Produto obtido a partir da técnica de corte por jato de água

- Jato de areia: técnica que permite o desgaste da peça retirando-lhe uma pequena camada superficial na zona onde se pretende realizar a decoração;
- Retificação: técnica que, com a utilização de mós abrasivas, permite obter a dimensão e esquadria dentro das tolerâncias pretendidas. Confere também uma forma mais apelativa comercialmente.
- Chanfrangem e Boleamento: técnica que, com a utilização de mós abrasivas, permite obter o perfil desejado no bordo das peças.

Em 2012 iniciou a produção de rodapés cerâmicos, integrando uma nova técnica que inclui uma linha de pintura automática.

Em 2013, fruto de investimento em tecnologia de ponta, a ID iniciou a execução de produtos retificados, permitindo a comercialização de pequenos formatos de maior valor acrescentado (no anexo 1 são apresentadas algumas peças produzidas na empresa).

Em 2014, a empresa iniciou o processo de implementação do Sistema de Gestão da Qualidade pela NP EN ISO 9001 (2000), tendo obtido a certificação em julho de 2015 pela SGS (Société Générale de Surveillance).

A experiência e a herança das empresas que lhe deram origem, consolidam uma tradição de padrões de excelência, que estão na base do que é hoje a ID, cuja vista aérea se pode identificar na Figura 3.



Figura 3. Vista aérea da empresa Ideias & Detalhes

3. Projeto LIT (Light In Tiles)

À data de início de estágio, iniciou-se entre a empresa Ideias & Detalhes e o ISEC, uma parceria com vista ao desenvolvimento de uma solução para a introdução de tecnologia LED (Light Emitting Diode) em peças cerâmicas. No âmbito deste projeto, houve a participação em algumas tarefas, que serão descritas seguidamente.

3.1. O Projeto LIT

Apesar da utilização crescente de pavimentos e revestimentos, estes, são maioritariamente estáticos, dado que permitem a incorporação de modo embebido de determinadas funcionalidades, como por exemplo a integração de sistemas de iluminação. A conjugação de uma procura crescente por este tipo de soluções, aliada à limitação de soluções no mercado levou a ID a procurar desenvolver soluções que permitam conjugar aspetos como, inovação, segurança, design, utilidade e tecnologia.

As soluções atuais de iluminação em componentes cerâmicos envolvem uma enorme complexidade da instalação elétrica, com múltiplos fios condutores nas juntas das peças cerâmicas, que na maior parte das vezes, necessita de ser embutida em argamassas cimentícias, o que torna o processo de instalação moroso, pouco prático e sujeito a danos difíceis de reparar. Assim, o objetivo do projeto LIT passa por desenvolver uma solução de iluminação embebida em componentes cerâmicos, nomeadamente com a aplicação e conexão elétrica simples e rápida de elementos que contenham iluminação integrada e capaz de ser controlada.

Este trabalho de investigação e desenvolvimento, em parceria com o Instituto Politécnico de Coimbra - ISEC, envolve um conjunto de objetivos específicos, que se podem elencar:

- Manipular as técnicas de embutir elementos elétricos/eletrónicos e luminosos em peças cerâmicas;
- Construir um sistema simples de acoplamento elétrico entre elementos cerâmicos (azulejos), com facilidade de montagem e desmontagem;
- Construir um sistema de comunicação de dados e controlo entre os elementos cerâmicos;

- Facilidade de utilização e conforto na ótica do utilizador;
- Controlo e automação de pontos de luz, de forma isolada ou em conjunto;

No seguimento desta parceria entre a empresa ID e o ISEC, decidiu-se que seria oportuno integrar algumas das tarefas de desenvolvimento do projeto, nomeadamente na construção do modelo físico para testes e execução de modelos 3D e de simulação numérica do comportamento estrutural. Assim, descrevem-se algumas destas atividades.

Modelos Iniciais

Numa fase inicial, o objetivo primário do projeto passou por testar o efeito visual de vários tipos de LED embutidos nos azulejos. A empresa disponibilizou para o projeto azulejos de dois tipos de material cerâmico: monoporosa e grés porcelânico. O primeiro, de maior absorção, é normalmente aplicado como revestimento; o segundo, um material de baixa absorção, pode ser usado, tanto no revestimento, como no pavimento. Usou-se, maioritariamente, azulejos no material grés porcelânico, não tendo existido um critério específico para tal. Os materiais são em tudo idênticos e, essencialmente, pretendia-se analisar e estudar a vertente eletrotécnica e funcional, indo ao encontro da ideia em que assenta o projeto LIT.

Assim, partindo de azulejos com dimensões de 190mm x 190 mm e espessura de 7,5 mm, foi executado um furo ao centro para embutir um LED. O furo foi executado na máquina de jato de água da ID, que se pode visualizar na Figura 4.



Figura 4. Furação dos azulejos na máquina de jato de água

Apresentam-se dois exemplos de azulejos com furação, um em grés porcelânico e outro em monoporosa (Figura 5).

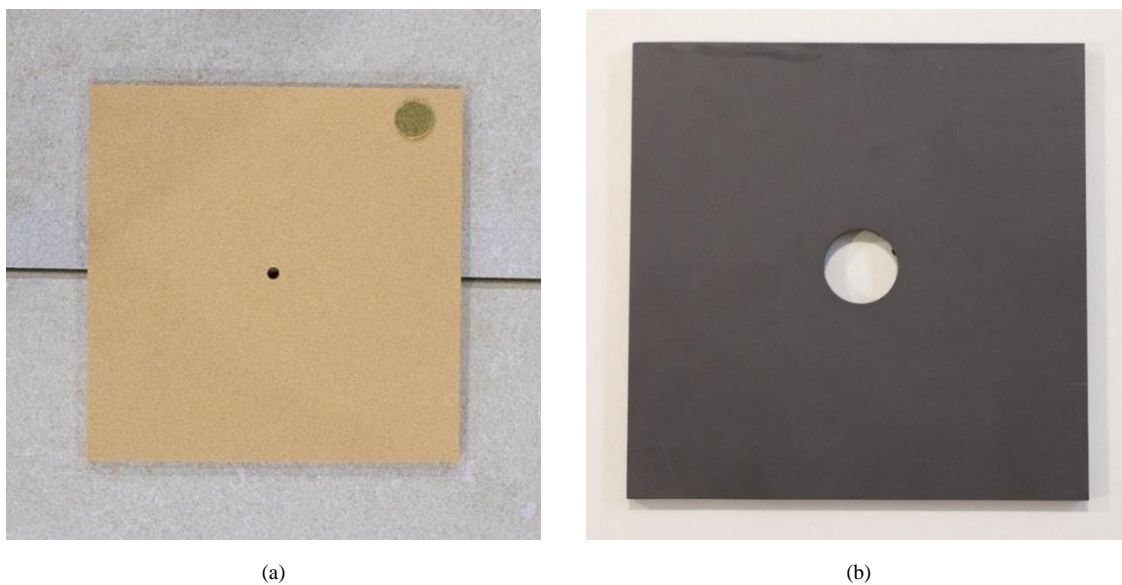


Figura 5. Modelo real: a) grés porcelânico; b) monoporosa

De seguida, procedeu-se à fixação do LED no orifício circular, tendo sido usada uma resina epóxi, transparente, de modo a promover a eficiente dispersão da luz gerada pelo LED (Figura 6 e 7).

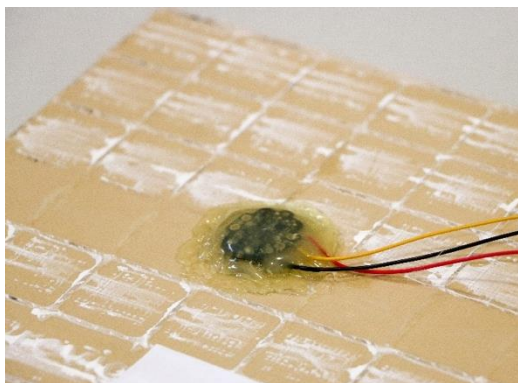


Figura 6. Base do modelo real

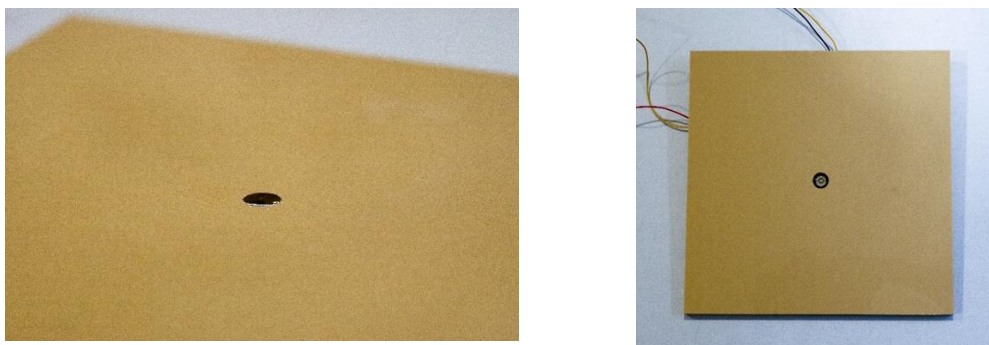


Figura 7. Modelo real com LED embutido

Já no ISEC, no laboratório de biomecânica aplicada, foi desenvolvida e testada a componente eletrotécnica do projeto, pela equipa de investigadores responsáveis. Os resultados foram satisfatórios, apresentando-se ao efeito visual observado (Figura 8).

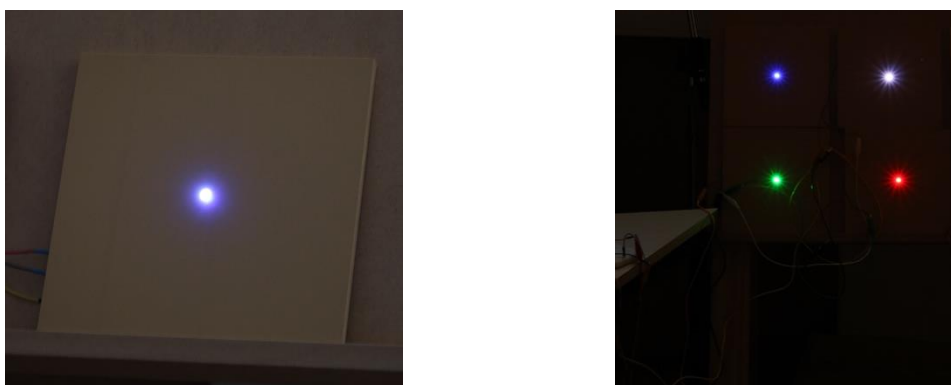


Figura 8. Efeito visual obtido a partir dos testes efetuados no ISEC

Após o primeiro teste e respetiva análise de resultados, a equipa de investigação referiu que seria necessário construir e testar um novo modelo de azulejo, que permitisse a aplicação de vários LED's em simultâneo, num único componente.

3.2. Geometria 3D do Modelo Teste

Nesta fase, pretendia-se desenvolver um azulejo que permitisse a passagem de fios na sua base, de forma a permanecerem embutidos no volume do próprio azulejo. Seria também necessário, proceder a rebaixos na base do azulejo, junto à sua lateral, para colocação de elementos conetores, em desenvolvimento noutra tarefa do projeto, e que permitem ligar os azulejos entre si, de modo simples. Complementarmente deveriam ser criados furos

retangulares, com posicionamento bem definido, para colocação de LEDS com resina epóxi ou material acrílico, que garanta a difusão de luz.

A geometria 3D do azulejo foi definida de encontro ao pretendido, recorrendo ao software SolidWorks, removendo o material estritamente necessário para embutir os fios, os conectores e os quatro elementos difusores de luz. A Figura 9, apresenta a geometria global do azulejo considerado, com os sulcos a produzir. O furo retangular tem a dimensão de 65,8 mm de comprimento e 10 mm de largura.

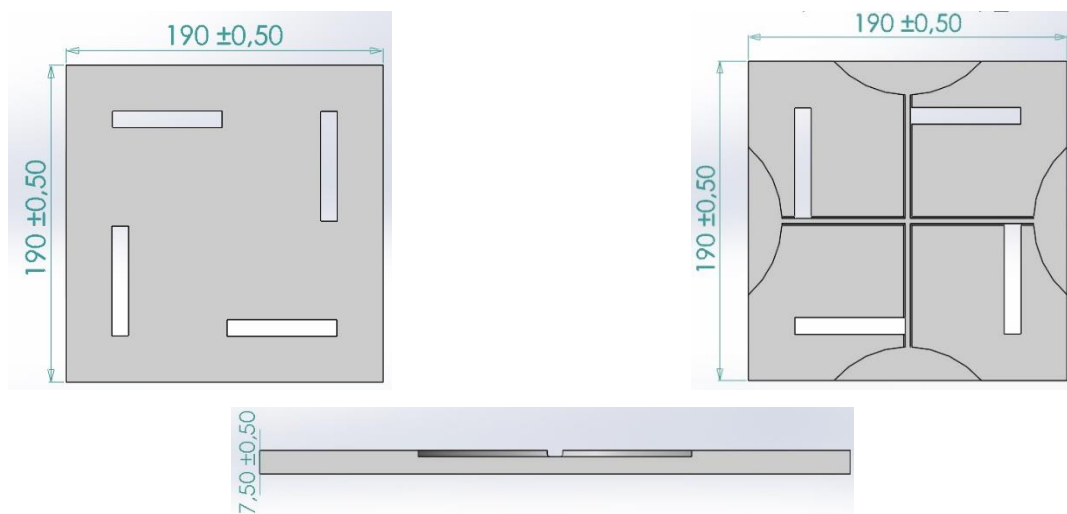


Figura 9. Geometria do modelo do azulejo, com vista de cima (esquerda), vista de baixo com sulcos (direita) e espessura. Dimensões em milímetros

A estrutura do azulejo envolve a execução de um rebaixo e um conjunto de rasgos com 2 mm de profundidade e com a geometria de corte da Figura 10. A figura mostra ainda a geometria 3D e as dimensões consideradas para o rasgo em forma de “cruz”, que terá a função de possibilitar a passagem de fios na base do azulejo. De forma a simplificar os procedimentos, designa-se este modelo por modelo 1.

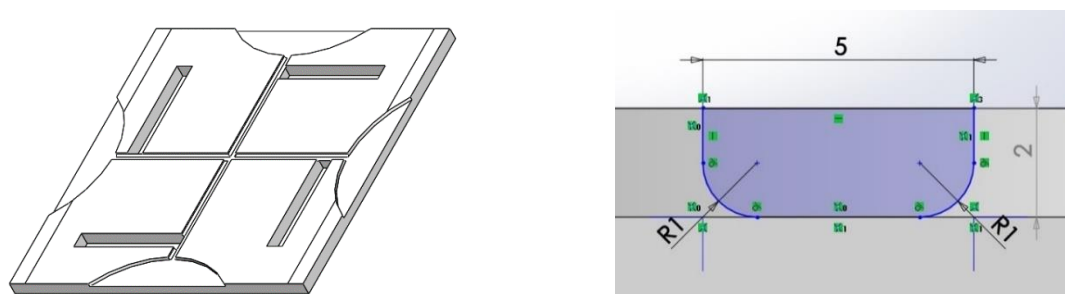


Figura 10. Geometria do modelo do azulejo, com vista dos rasgos e da geometria do rebaixo (dimensões em milímetros)

3.3. Norma a Considerar

Um dos aspetos a ter em conta com a implementação de rasgos e rebaixos no azulejo envolve a verificação do comportamento estrutural do azulejo. O estudo que se apresenta é baseado na Norma EN ISO 10545 - *Part 4 (Determination of modulus of rupture and breaking strength)*.

A norma, direccionada para componentes cerâmicos, indica um ensaio em que a peça cerâmica é simplesmente apoiada em dois rolos nas laterais, sendo uma carga exercida por um terceiro rolo na sua zona central. A distância entre a linha de contacto dos rolos com a base da peça e a lateral da mesma, varia conforme a dimensão do modelo que se está a estudar. No caso, essa distância é de 10 mm. O rolo central é colocado ao centro da peça, paralelamente aos rolos que a suportam. É sobre este rolo que é aplicada a carga, que por sua vez é transmitida à peça em estudo. A Figura 11, ilustra o descrito, que pode ser considerado como um ensaio de flexão em três pontos.

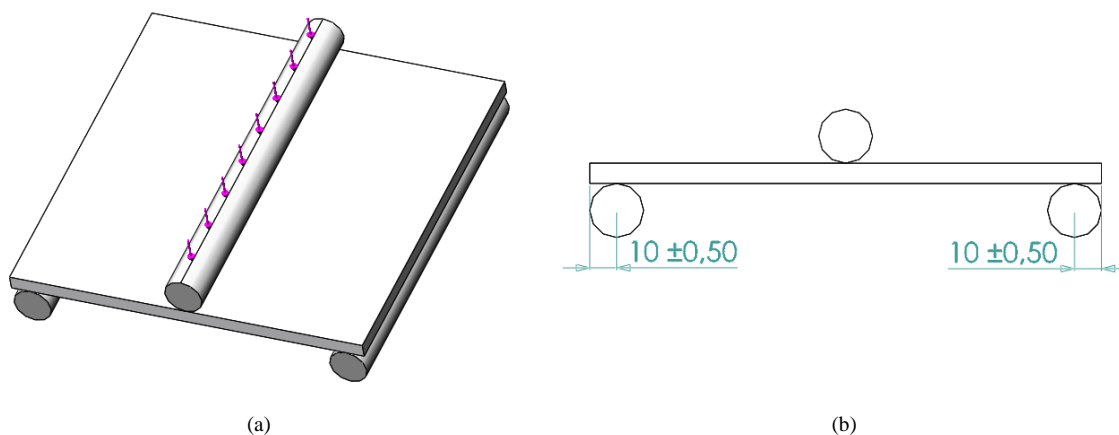


Figura 11. (a) Visualização 3D esquemática do teste a implementar; (b) Vista frontal esquemática do teste (em milímetros)

3.4. Modelo Numérico

O estudo numérico do comportamento estrutural dos modelos de azulejo foi implementado com recurso ao método dos elementos finitos, através do software Solidworks. O estudo segue o alinhamento da norma atrás descrita, tendo sido implementada uma análise estática linear.

Tendo em conta a geometria do azulejo, optou-se por definir o modelo com elementos sólidos, tetraédricos parabólicos, com 10 nós e 3 graus de liberdade por nós, correspondentes às 3 translações nas direções ortogonais. O elemento tetraédrico considerado é representado na Figura 12.

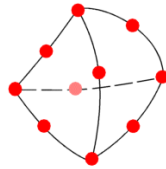


Figura 12. Elemento tetraédrico parabólico¹

Numa primeira fase procedeu-se à análise estrutural do azulejo inteiro, definido como modelo de referência. A resposta do modelo com rasgos e rebaixos pode assim ser comparada com a resposta do modelo de referência. As condições de preparação do modelo foram iguais para as duas geometrias, ilustrando-se a preparação do modelo a partir da geometria com rasgos e rebaixos.

A Figura 13 ilustra a condição de solicitação imposta ao modelo. Tal como se pode observar, a condição de aplicação de carga com o rolo central é simulada pela aplicação de força uniforme numa linha central do azulejo. Considera-se a aplicação de uma carga de 735 N, que corresponde a uma massa de 75 kg, normalmente utilizada como peso médio de um indivíduo.

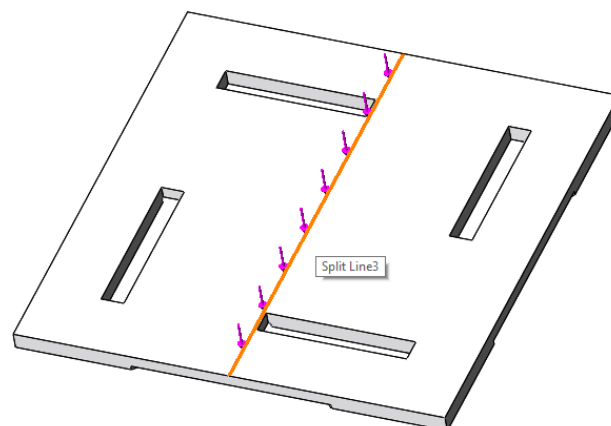


Figura 13. Condição de carga imposta ao modelo

As condições de fronteira do modelo simulam o apoio do azulejo nos dois rolos inferiores. Neste caso, define-se que a peça fica fixa pelas linhas definidas na Figura 14, que correspondem ao contacto entre o azulejo e os rolos de suporte. A condições de fronteira envolve assim o constrangimento de todos os graus de liberdade dos nós que coincidam com esta linha de contacto.

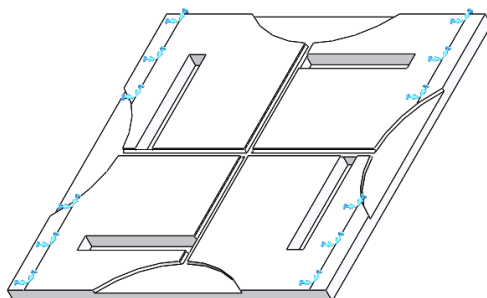


Figura 14. Condição de fronteira imposta ao modelo

A malha de elementos finitos para obtenção do modelo final foi alvo de um estudo de convergência de malha. Foram realizados 9 ensaios, onde se diminuiu progressivamente o tamanho do elemento, de um em um milímetro. Iniciou-se com o tamanho de elemento de 12 mm, até ao tamanho de elemento de 4 mm.

A análise de convergência foi feita com base no deslocamento máximo do modelo. O gráfico da Figura 15 apresenta a curva de convergência, representando o deslocamento máximo em função do número de elementos para o azulejo de referência. Tal como se pode observar, o modelo converge a partir de cerca de 15000 elementos.

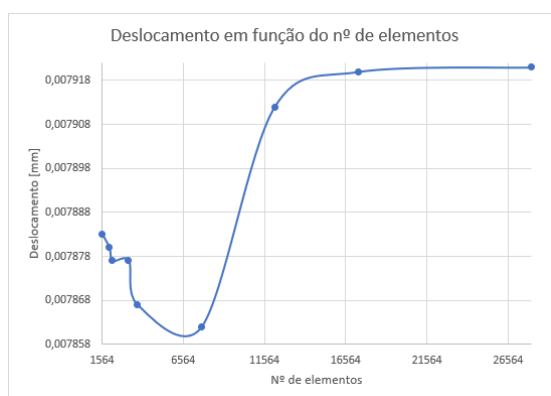


Figura 15. Curva de convergência Deslocamento em função do nº de elementos (modelo referência)

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o azulejo com rasgos. A tabela apresentada é complementada com uma representação, sob forma de gráfico, da relação entre o número de elementos no modelo e o máximo deslocamento resultante (Figura 16). Além do número de elementos e o deslocamento máximo obtido, apresentam-se também a relação de aspecto do elemento e o erro relativo quando se aumento o número de elementos, obtido a partir de uma dimensão menor do elemento. Os resultados obtidos mostram uma convergência do modelo, sendo considerado para análise final uma dimensão média de elemento de 4 mm, que corresponde a cerca de 28779 elementos.

Tabela 1. Resultados obtidos para o azulejo com rasgos (modelo 1)

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Número de Elementos | 2441 | 2747 | 3270 | 4152 | 4826 | 6984 | 11379 | 17120 | 28779 |
| Dimensão [mm] | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| Tensão Máxima von Mises [MPa] | 37,18 | 34,56 | 34,57 | 40,04 | 37,85 | 43,33 | 45,44 | 56,55 | 62,13 |
| Deslocamento Resultante máximo [mm] | 0,1133 | 0,1122 | 0,1108 | 0,1125 | 0,1130 | 0,1133 | 0,1153 | 0,1160 | 0,1168 |
| Relação de aspecto | 62,8 | 66,4 | 72,3 | 73,7 | 79,2 | 84,7 | 91,6 | 94,8 | 97,3 |
| Erro relativo [%] | - | -0,9 | -1,2 | 1,5 | 0,4 | 0,2 | 1,7 | 0,6 | 0,6 |

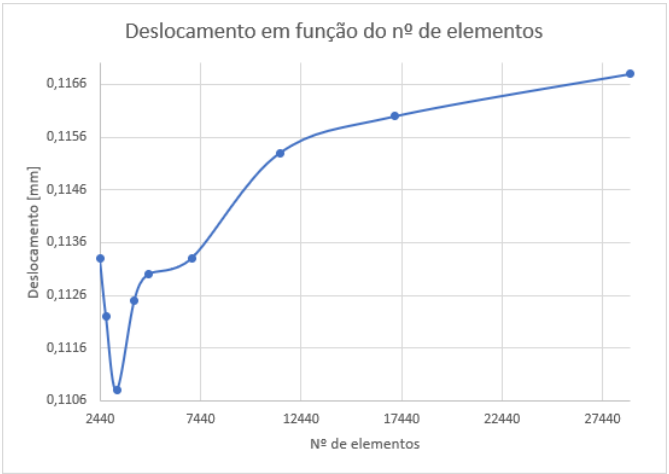


Figura 16. Curva de convergência e tabela de resultados para o modelo com rasgos

Resultados numéricos

A Figura 17 compara a distribuição das tensões de von Mises para os dois modelos em estudo. A Figura 18 compara a distribuição dos deslocamentos resultantes para os dois modelos.

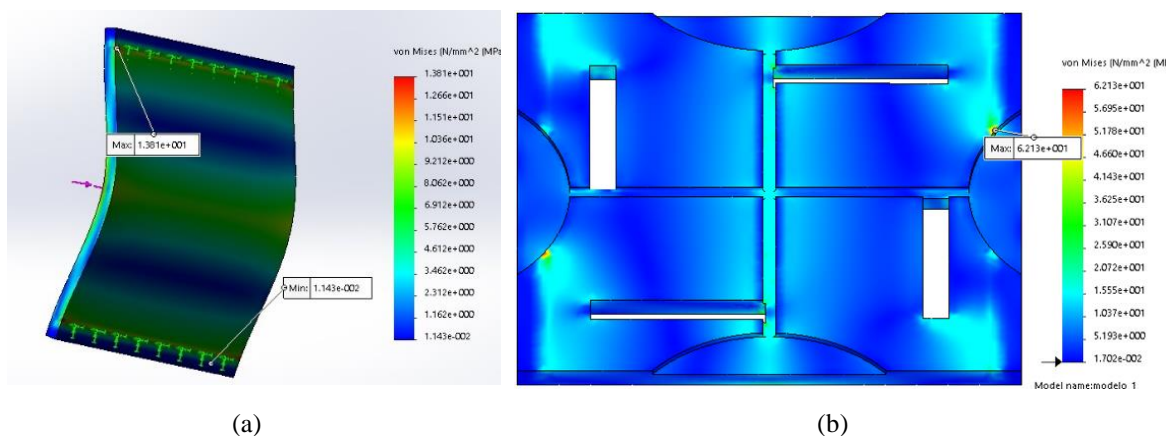


Figura 17. Distribuição das tensões de von Mises para: (a) Modelo de referência; (b) Modelo com rasgos

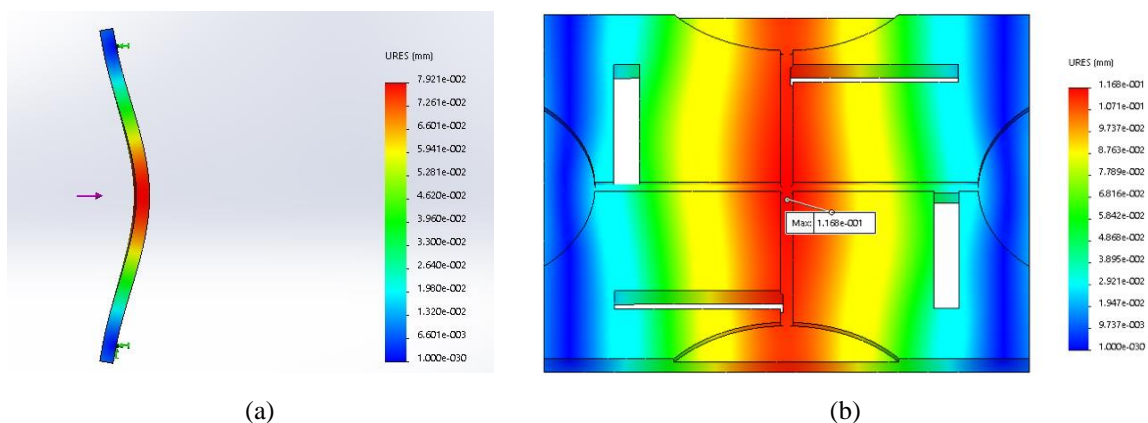


Figura 18. Distribuição dos deslocamentos resultantes para: a) Modelo de referência; b) Modelo com rasgos

Tal como seria expectável, verificaram-se valores superiores de tensão de von Mises e de deslocamento para o modelo com rasgos. A necessidade de efetuar as referidas ações no azulejo (rasgos, rebaixos e furos), diminuiu normalmente a sua resistência e rigidez. Nas simulações efetuadas, a zona onde se registaram os valores máximos de tensão de von Mises corresponde às zonas de contacto com os rolos. No entanto, estas tensões são de contacto, não traduzindo o comportamento que se pretende observar.

De modo a retirar conclusões quanto à resistência do azulejo, opta-se por fazer uma representação com os isovalores superiores à tensão de cedência do material, que é de 35 MPa (Figura 19).

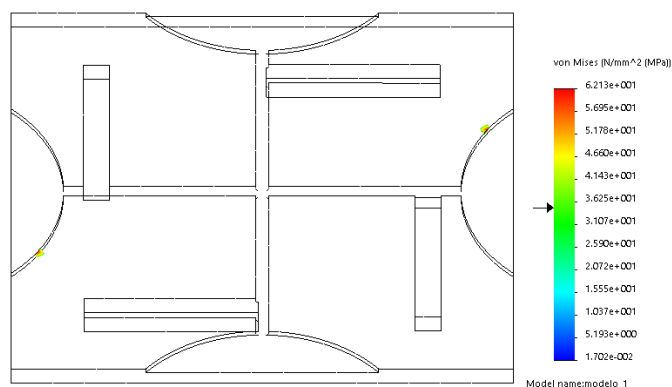


Figura 19. Isovalores de tensão de von Mises superiores a 35 MPa

Pela observação da imagem, não se verificam tensões superiores a 35 MPa na zona central da peça (rasgo). Os valores de tensão superiores a 35 MPa ocorrem apenas na linha de contacto com os rolos, sendo por isso uma tensão de contacto, que não deve ser considerada na interpretação e discussão de resultados.

Deste modo, tendo em conta que as tensões de von Mises são inferiores à tensão de cedência do material, pode afirmar-se que o azulejo, para as condições de ensaio previstas na norma e para o modelo de elementos finitos definido, apresenta a resistência adequada, não colocando problemas a execução dos rasgos.

Os resultados obtidos para os deslocamentos resultantes máximos mostram que o azulejo, mesmo com rasgos, apresenta a rigidez adequada para as condições de simulação previstas na norma, com uma relação entre o vão (distância entre apoios) e o deslocamento máximo superior a 1000.

Influência da dimensão do raio e profundidade do rasgo

De modo a estudar a sensibilidade da profundidade do rasgo, assim como a dimensão do raio de curvatura do mesmo, foram implementados vários modelos de elementos finitos, variando apenas estas dimensões. Consideram-se três dimensões possíveis para a profundidade do rasgo: 1 mm (modelo 1.1), 2 mm (modelo 1), 3mm (modelo 1.2). O raio de concordância varia de modo discreto desde 0 (ângulo reto) até 0,9 mm (rasgo 1mm), 1,9 mm (rasgo 2mm) e 2,4 mm (rasgo 3mm).

Os resultados obtidos para as tensões máximas de von Mises e deslocamentos resultantes máximos são apresentados na tabela da Figura 20. Apesar de não ser com valores

significativos, à medida que se aumenta o raio de concordância, o deslocamento máximo diminui, correspondendo a um ligeiro aumento na rigidez do azulejo.

| raio [mm] | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| modelo 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tensão máxima [MPa] | 55,42 | 54,8 | 55,33 | 55,5 | 55,82 | 55,42 | 55,26 | 55,63 | 55,72 | 55,03 | | | | | | | | | | | | | | | |
| deslocamento máximo [mm] | 0,1101 | 0,11 | 0,1099 | 0,11 | 0,11 | 0,1099 | 0,1098 | 0,1098 | 0,1097 | 10,97 | | | | | | | | | | | | | | | |
| modelo 1.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tensão máxima | 59,65 | 59,64 | 59,72 | 59,64 | 59,63 | 59,42 | 58,98 | 59,16 | 58,26 | 62,24 | 62,13 | 61,87 | 61,64 | 61,86 | 61,63 | 61,15 | 60,53 | 60,94 | 60,36 | 53,56 | | | | | |
| deslocamento máximo | 0,1182 | 0,1178 | 0,1182 | 0,1181 | 0,1179 | 0,1178 | 0,1175 | 0,1174 | 0,1173 | 0,117 | 0,1168 | 0,1166 | 0,1164 | 0,1162 | 0,116 | 0,1157 | 0,1155 | 0,1152 | 0,1145 | 0,1141 | | | | | |
| modelo 1.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tensão máxima | 65,6 | 64,4 | 69,1 | 64,21 | 90,62 | 77,44 | 71,06 | 64,26 | 64,2 | 63,65 | 63,8 | 63,54 | 64,8 | 63,53 | 63,07 | 63,48 | 63,64 | 63,52 | 62,86 | 61,88 | 61,92 | 62,28 | 62,55 | 61,42 | 62,16 |
| deslocamento máximo | 0,1306 | 0,1299 | 0,1306 | 0,1305 | 0,1303 | 0,1302 | 0,1299 | 0,1297 | 12,95 | 0,129 | 0,129 | 0,1289 | 0,1286 | 0,1283 | 0,1279 | 0,1276 | 0,1273 | 0,1269 | 0,1263 | 0,1258 | 0,1255 | 0,1253 | 0,1249 | 0,1245 | 0,1243 |

Figura 20. Valor da tensão máxima de von Mises e deslocamento resultante máximo para as variações da profundidade e raio de concordância dos rasgos

Tal como esperado, os valores de tensão máxima ocorrem na zona de contacto entre a base do azulejo e o rolo que o suporta. Deste modo, para obter uma comparação visual, efetuou-se um conjunto de representação por isovalores, considerando-se três valores de tensão limite (10 MPa, 20 MPa e 35 MPa), no sentido de mostrar a resposta à carga das zonas frágeis do modelo e que interessam analisar. Estas imagens comparativas, para os diversos cenários estudados, podem ser observadas no anexo 2. A título de exemplo, apresentam-se comparativamente, para o modelo 1 com um raio de concordância 0, as imagens com os isovalores para os três limites de tensão (Figura 21).

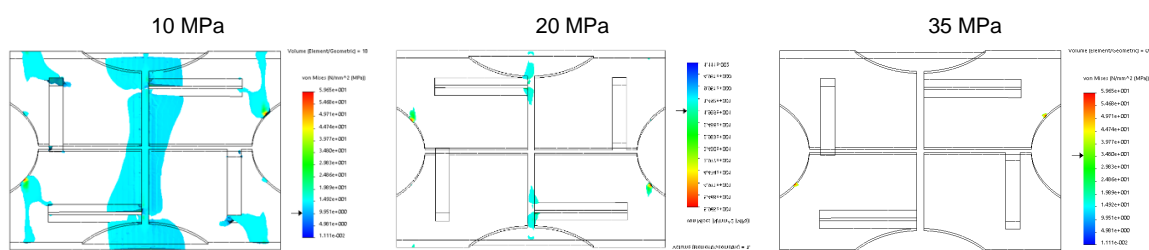


Figura 21. Isovalores de tensão de von Mises

Da análise efetuada aos resultados, e apesar de haver variações, não se observa uma influência significativa, tanto da profundidade do rasgo considerado como do raio de concordância, no comportamento estrutural do azulejo.

Pela observação das imagens do anexo 2, concretamente, as imagens relativas aos isovalores para 35 MPa, conclui-se que para qualquer uma das dimensões de raio do chanfro, atribuído a cada um dos três modelos, não se observam tensões superiores a 35 MPa na zona mais frágil do modelo, que é o rasgo ao centro da peça e paralelo à carga aplicada na sua superfície.

O custo de produção relaciona-se diretamente com o desgaste das ferramentas e tempo de mão de obra. Quanto mais largo e fundo for o rasgo, maior o desgaste das ferramentas. Assim, de entre os modelos analisados (modelo 1, modelo 1.1 e modelo 1.2), qualquer um deles é passível de execução, pois registam tensões inferiores a 35 MPa (valor de tensão de cedência), na sua zona mais frágil.

4. Processo PVD (Deposição Física de Vapor)

Uma das áreas abordadas no decorrer do estágio passou pelo envolvimento no processo PVD (*Physical Vapor Deposition*). Este processo é realizado na empresa, no âmbito da vertente de decoração de peças cerâmicas. Seguidamente, apresenta-se uma descrição geral daquilo que é o processo PVD, com referência aos métodos mais utilizados na indústria e, posteriormente, descreve-se a participação em atividades envolvendo o processo PVD.

4.1. O processo PVD

O PVD, também designado por deposição física de vapor, é um processo descoberto por Faraday, a partir da observação da deposição de partículas na superfície interna de bolbos de lâmpadas incandescentes, com origem na explosão do filamento. Este processo permite a deposição de material metálico na superfície de um determinado material. O material que é revestido designa-se por substrato e o material de revestimento designa-se por alvo. Esta tecnologia é implementada em vácuo, no interior de uma câmara especial, a temperaturas que variam tipicamente entre os 250 °C e os 450 °C.

A tecnologia PVD é utilizada para revestir as superfícies de variados materiais com filmes finos, com o propósito de proteção (PVD funcional) ou de decoração (PVD decorativo). A espessura do revestimento varia, tipicamente, entre 2 a 5 µm (micrómetros), contudo, em alguns casos, pode ter uma espessura de apenas algumas centenas de nm (nanómetros) ou, por outro lado, espessuras na ordem dos 15 µm, conforme o objetivo pretendido.

A utilização do processo PVD na empresa envolve objetivos de produção de revestimentos decorativos em peças cerâmicas. Embora seja este o objetivo principal, o revestimento colocado não deixa de exercer uma função protetora, prolongando a vida útil das peças decorativas (adiante, será descrito o processo colocado em prática na empresa).

Os materiais a ser revestidos através deste processo podem abranger diversas áreas, como a medicina (revestimento de próteses), aeronáutica (revestimentos anticorrosivos), mecânica (revestimentos de ferramentas de corte) ou decoração (talheres, placas cerâmicas, etc.). A Figura 22, ilustra, resumidamente, as diferentes fases do processo PVD.

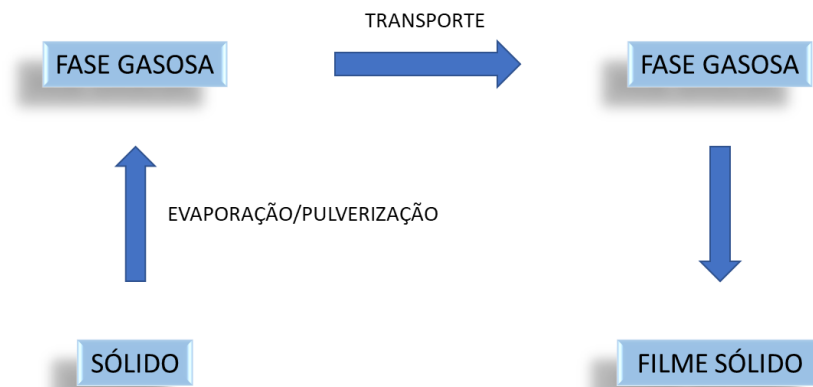


Figura 22. Fases do processo PVD

A tabela da Figura 23 apresenta algumas áreas de aplicação do processo, bem como alguns materiais de revestimento e materiais que comumente são revestidos através deste processo.

| APLICAÇÕES | MATERIAIS DE REVESTIMENTO (ALVO OU "TARGET") | MATERIAIS DE SUBSTRATO |
|--------------------------|---|------------------------|
| Indústria automóvel | TiN, | Aço |
| Indústria aeroespacial | CrN, | Aço-inoxidável |
| Indústria alimentar | TiAlN, | Latão |
| Indústria ótica | Ag, | Alumínio |
| Relojoaria e joalheria | Al, | Zamak |
| Medicina | Cr, | Cerâmica |
| Moldes e ferramentas | Cu, | Plástico ABS |
| Decoração | Ti, | Vidro |
| Armas de fogo | Zr, | |
| Equipamentos de desporto | AlCu, | |
| Tribologia | Mo | |
| | Ligas Ni-Ti, Ni-Cr, Ni-Cu | |

Figura 23. Aplicações, materiais de revestimento e de substrato, usados no processo PVD

Este processo envolve um conjunto de vantagens e desvantagens, que se podem enumerar.

Vantagens associadas ao processo PVD:

- elevada dureza superficial concedida pelo revestimento (seis vezes superior à dureza típica do aço);
- diminuição do atrito;
- elevada estabilidade química e térmica;
- aumento da vida útil das ferramentas e consequente minimização de avarias, diminuição de custos de manutenção e ganhos de produtividade;
- mais resistente que os revestimentos galvânicos;

- compatibilidade com a indústria alimentar (interior de pacotes de batata frita);
- antialérgico;
- diversidade e reprodutibilidade de cores;
- resistência aos raios UV;
- processo e produto *eco-friendly* (“*amigo do ambiente*”);
- reduzida agressão ambiental, comparativamente ao processo de galvanização;
- gravação a laser é possível antes ou depois de revestir;
- aplicável a qualquer acabamento superficial da peça;
- flexível para diversos formatos, tamanhos e quantidades;
- na injeção de plásticos e ligas leves em moldes, o efeito do revestimento reflete-se na resistência ao desgaste; na proteção contra a corrosão provocado pelos gases, compostos do plástico ou ligas; na facilidade de desmoldação e proteção contra fenómenos de gripagem;
- na indústria automóvel, é usado no revestimento de determinados componentes, conferindo-lhes um melhor desempenho tribológico. Desta forma, é possível usar materiais leves (no sentido de reduzir o consumo), ainda que não possuam a dureza e resistência ao desgaste pretendidos. O revestimento confere estas propriedades;
- biocompatíveis. Usados em instrumentos cirúrgicos e próteses. O processo confere uma maior aptidão ao corte em instrumentos cirúrgicos e o no caso das próteses, o material apresenta uma taxa de difusão baixa ou nula, prevenindo a passagem do mesmo para os tecidos circundantes.

Desvantagens do processo PVD:

- algumas técnicas de PVD podem impor restrições relativamente à capacidade de cobertura total da superfície do componente a revestir, no caso de geometrias complexas;
- rugosidade excessiva pode diminuir a eficiência do processo;
- algumas tecnologias de PVD operam em temperaturas e vácuos elevados, exigindo atenção especial pelo pessoal operacional;
- em algumas técnicas, requerem um sistema de refrigeração para dissipar grandes cargas de calor;
- impurezas e resíduos superficiais prejudicam a adesão do revestimento;

- finalizado o processo, as peças encontram-se no seu estado final, logo, requer-se precaução com o seu manuseio, a fim de não danificar a sua superfície.

Apresenta-se na Figura 24 um conjunto de imagens que exemplificam algumas aplicações do processo PVD.

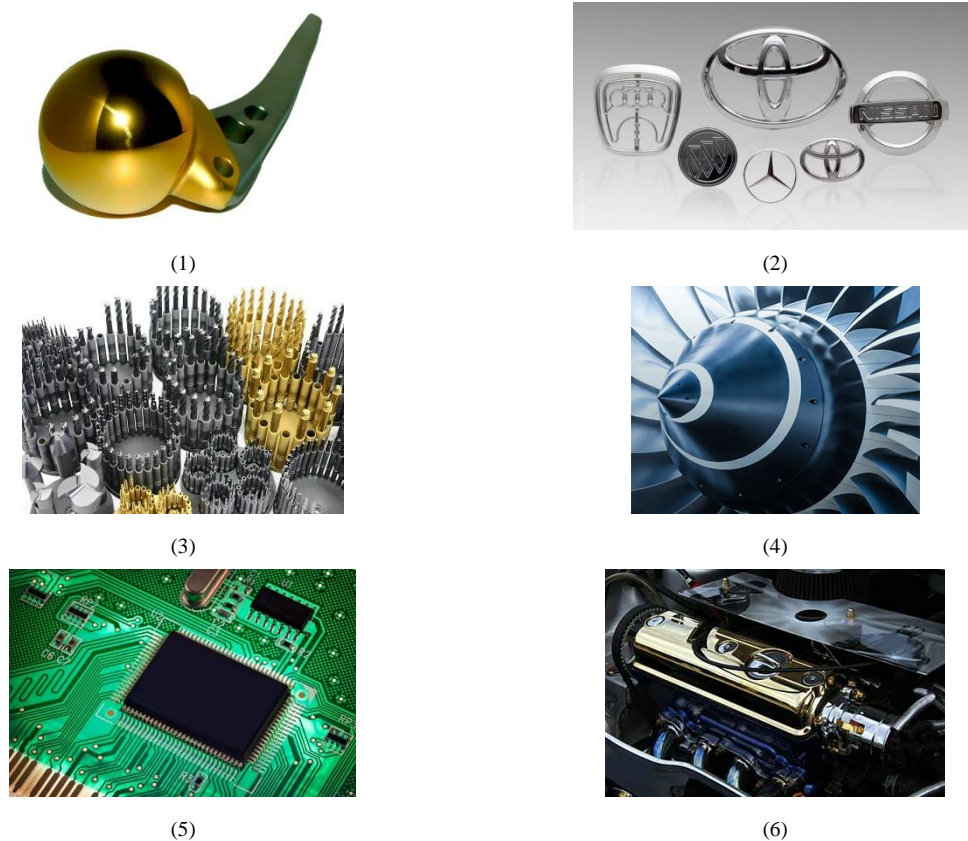


Figura 24. Aplicações de PVD. (1) prótese www.ceramed.pt²; (2) decoração/indústria automóvel www.redspot.com³; (3) revestimento de ferramentas de corte www.destinytool.com⁴; 4-indústria aeronáutica www.coatingsolutions.saint-gobain.com⁵; 5-microeletrónica www.azom.com⁶; 6-indústria automóvel www.metalilux.com⁷

Existem várias técnicas que possibilitam a realização do processo PVD, destacando-se:

- Deposição por Evaporação;
- Deposição por Pulverização (“*Sputtering*”);
- Deposição por Arco Catódico (“*Cathodic Arc Deposition*”).

4.2. Deposição por Evaporação

Este processo envolve o aquecimento do material de revestimento dentro de uma câmara metálica, em vácuo, até evaporar. O material de revestimento é colocado na base da câmara e o substrato no topo, ou seja, o material a depositar efetua um percurso ascendente. O vácuo garante que a câmara se mantenha ausente de partículas estranhas durante o processo. Desta forma, o material evaporado percorre o caminho até ao substrato, sem colidir com qualquer partícula estranha ou indesejável. Se tal ocorresse, o material a depositar poderia reagir, contaminando-se, alterando assim as propriedades pretendidas. Além da referida reação do material de revestimento, também o embate com partículas estranhas poderia alterar a trajetória desejável e, consequentemente, prejudicar o controlo da espessura do revestimento.

A pressão de vapor do material evaporado, aliada ao vácuo existente e à diferença de temperatura (mais quente na base e mais frio na zona do substrato), fá-lo atravessar a câmara no sentido ascendente, atingindo o substrato, formando assim o revestimento.

A Figura 25 resume as etapas do processo de deposição por evaporação.

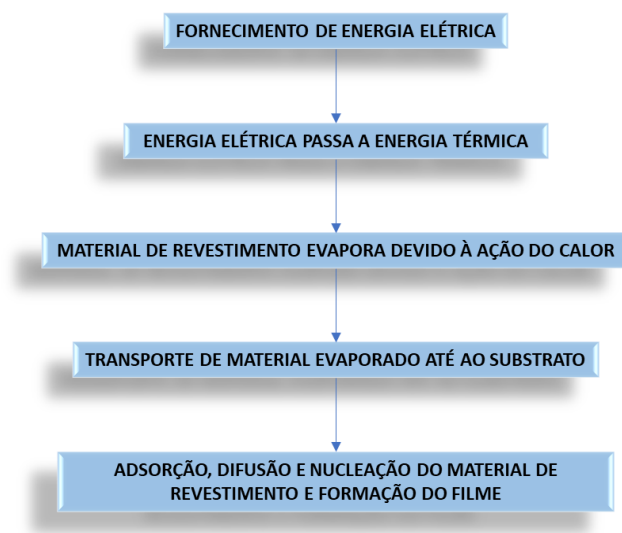


Figura 25. Etapas de deposição por evaporação

Existem dois tipos de processo de deposição física de vapor por evaporação, distinguindo-se entre eles a forma como se realiza a evaporação do material de revestimento. Os processos, são: Evaporação Térmica Resistiva (*“Resistive Thermal Evaporation”*) e Deposição Evaporativa por Feixe de Eletrões (*“Electron Beam Evaporation”* ou *“E-Beam Evaporation”*).

- **Evaporação Térmica Resistiva** (“*Resistive Thermal Evaporation*”)

No processo de evaporação térmica resistiva o aquecimento do material de revestimento pode ser efetuado de duas formas. Numa delas, o aquecimento do revestimento até à sua evaporação é feito a partir de um “*resistive boat*”, como se observa na Figura 26.



Figura 26. “resistive boat”. www.angstromengineering.com⁸

O “*resistive boat*” é uma resistência elétrica, suportada por dois elétrodos, que por sua vez estão ligados a um transformador que regula a corrente a ser conduzida para os elétrodos. No centro do “*resistive boat*” é depositado o material de revestimento. A corrente ao tentar atravessar o “*resistive boat*” vai gerar calor, pela resistência que é imposta à sua passagem. É este calor que vai evaporar o material a depositar. Apresentam-se na Figura 27, esquemas ilustrativos do referido processo.

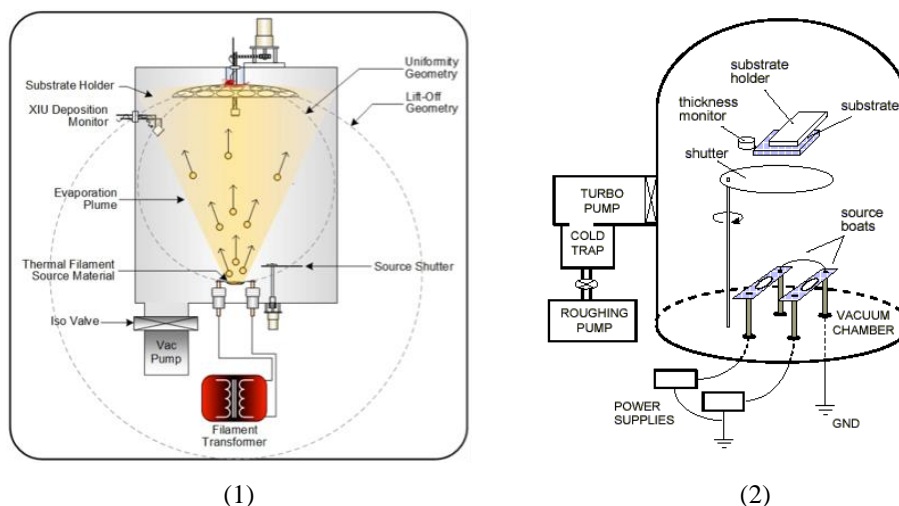


Figura 27. (1) e (2), esquemas do processo de evaporação térmica resistiva (www.semicore.com⁹; https://stuff.mit.edu/afs/athena.mit.edu/course/3/3.082/www/team2_f02/Pages/processing.html¹⁰)

Outra forma de evaporação do material de revestimento é através de uma resistência/bobine ligada diretamente a um cadinho, onde está contido o material a evaporar (Figura 28).

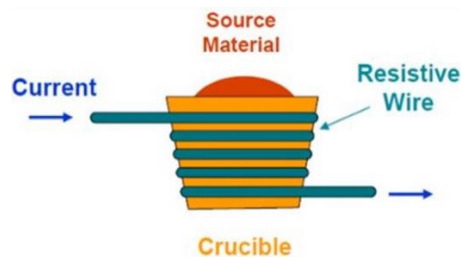


Figura 28. Evaporação térmica resistiva através de uma resistência (adaptado de: *Thin Film Deposition*. Prof. Doutor Ir.Djoko Artanto MSc. Electrical Engineering Department, Faculty of engineering univesity of Indonesia. February 14, 2003¹¹)

Neste caso, o aquecimento é efetuado diretamente pela resistência, sobre o dispositivo que contém o revestimento.

- **Deposição Evaporativa por Feixe de Eletrões** (“*Electron Beam Evaporation*” ou “*E-Beam Evaporation*”)

Neste processo é fornecida uma corrente que passa através de um filamento de tungsténio, aquecendo-o, até ocorrer o efeito termiônico (aumento do fluxo de eletrões que saem de um metal, devido ao aumento de temperatura). Ao aumentar substancialmente a temperatura do metal, proporciona-se uma maior facilidade para a saída/emissão de eletrões. Apresenta-se na Figura 29 um esquema ilustrativo deste processo.

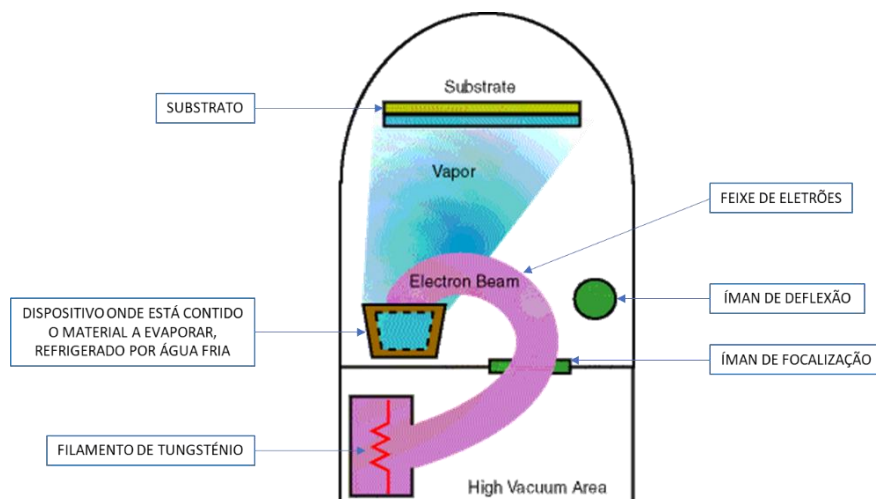


Figura 29. Evaporação por feixe de eletrões (adaptado de: www.tungsten.com¹²)

O filamento de tungstênio localiza-se fora da zona de deposição, a fim de evitar contaminação com o fluxo do material evaporado a depositar. O feixe de elétrons executa geralmente um ângulo de 270 graus no seu percurso até atingir o alvo. Este direcionamento do fluxo de elétrons ocorre devido à ação, primeiramente, de um íman de focalização e, posteriormente, de um íman de deflexão.

Quando o feixe de elétrons atinge a superfície do material de revestimento a evaporar, a energia cinética do seu movimento é transformada em calor devido ao impacto. O material evaporado toma o sentido ascendente, depositando-se na superfície do substrato, formando uma camada fina de novo material. Apresenta-se na Figura 30, um esquema ilustrativo deste processo.

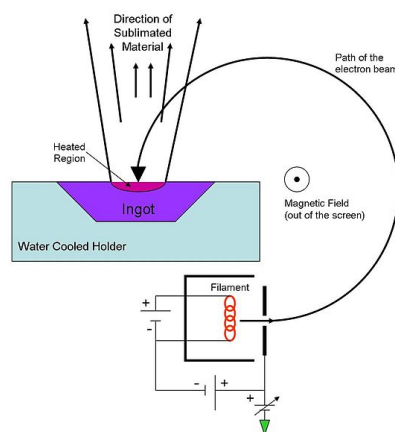


Figura 30. Evaporação por feixe de elétrons (<https://en.wikipedia.org>¹³)

Na Figura 31, apresentam-se 3 diferentes dispositivos usados neste processo, que servem para colocação do material de revestimento a evaporar.

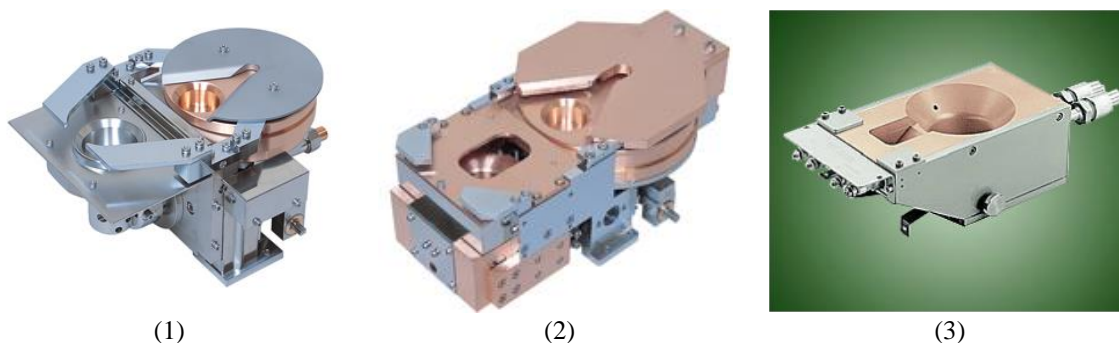


Figura 31. Dispositivos usados no processo de evaporação por feixe de elétrons, para colocação do material a evaporar (1) e (2) www.jeol.co.jp^{14,15}; (3) www.ajaint.com¹⁶

Na Figura 32, mostra-se uma imagem ilustrativa do “caminho” e trajetória do material evaporado até chegar ao substrato.

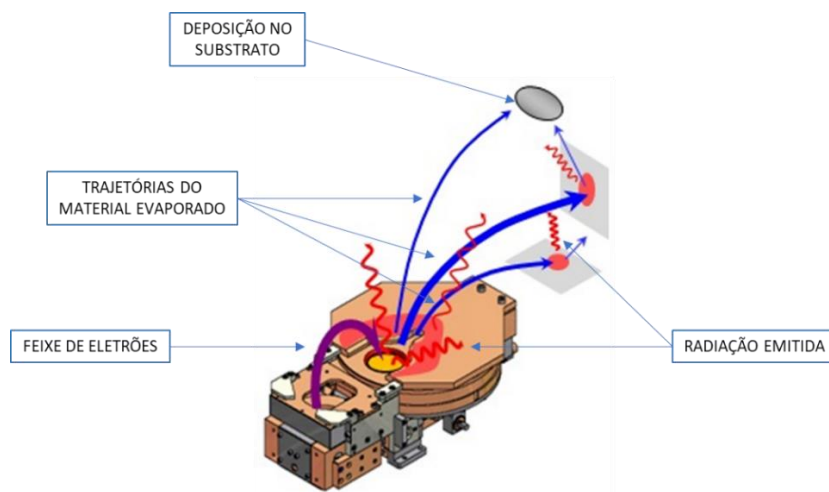


Figura 32. Processo de deposição por evaporação, por feixe de elétrons (adaptado de: www.jeol.co.jp¹⁷)

Apresentam-se na Figura 33 alguns materiais usados no processo de deposição por evaporação. O nióbio, alumínio e ouro pode ser usado na evaporação por feixe de elétrons. O molibdénio pode ser usado na evaporação térmica resistiva e na evaporação por feixe de elétrons.



Figura 33. Material de revestimento. (1) nióbio; (2) alumínio; (3) ouro; (4) molibdénio (www.lesker.com^{18,19,20,21})

A Tabela 2 apresenta um resumo comparativo entre a evaporação térmica resistiva e a evaporação por feixe de elétrons.

Tabela 2. Resumo comparativo entre a evaporação térmica resistiva e a evaporação por feixe de elétrons (adaptado de: *Coating Technology: Evaporation Vs Sputtering*. Gianni Monaco, PhD R&D project manager, Satisloh Italy 04.04.2016 V1)²²

| Processo de deposição | Tipo de material a evaporar | Material de revestimento | Nível de impurezas | Taxa de deposição | Faixa de temperatura atingida | Custo |
|---------------------------------|--|---|--|---|--|--|
| Deposição Térmica Resistiva | Metais ou materiais com ponto de fusão mais baixo que os usados na deposição por feixe de elétrons | Au, Ag, Al, Cr, Sn, Sb, Ge, In, Mg, Ga, CdS, PbS, CdSe, NaCl, KCl, AgCl, MgF ₂ , CaF ₂ , PbCl ₂ | Superior à deposição por feixe de elétrons | Inferior à deposição por feixe de elétrons (1 a 20 Å/s) | Inferior à deposição por feixe de elétrons (1800 °C) | Inferior à deposição por feixe de elétrons |
| Deposição por Feixe de Elétrons | Metais com elevado ponto de fusão e materiais dielétricos | Ni, Pt, Ir, Rh, Ti, V, Zr, W, Ta, Mo, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , SiO ₂ , SnO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂ | Inferior à deposição térmica resistiva | Superior à deposição térmica resistiva (10 a 100 Å/s) | Superior à deposição por feixe de elétrons (3000 °C) | Superior à deposição térmica resistiva |

Apresenta-se seguidamente algumas vantagens e desvantagens da deposição por evaporação.

Vantagens:

- permite a deposição de filmes de elevada pureza;
- fonte do material a ser evaporado pode ser um sólido com qualquer tipo de geometria;
- permite o uso de máscaras para definir áreas de deposição e o uso de obturadores entre a fonte e o substrato, a fim de evitar deposição quando não desejado;
- menos dispendioso dos processos de PVD.

Desvantagens:

- dificuldade de deposição de alguns compostos e ligas;
- cobertura superficial insuficiente ou baixa uniformidade da espessura do filme;
- apenas se efetua no sentido ascendente, no interior da câmara;
- pode ocorrer elevadas cargas de calor radiante durante a deposição;
- é necessário, em alguns casos, câmaras de vácuo de grande volume, de modo a manter uma distância adequada entre a fonte quente e o substrato.

Na Figura 34, apresentam-se dois exemplos de aplicação do processo de deposição por evaporação.



Figura 34. (1) acabamento em dourado do iPhone XS Gold www.apple.com²³ ; (2) filme PET metalizado www.petfilmfoil.com²⁴

4.3. Deposição por Pulverização (“Sputtering”)

No método de deposição física de vapor que ocorre a partir da pulverização de um alvo, inicialmente, é introduzido argônio (gás inerte) para o interior da câmara, até que uma pressão de pulverização desejada seja atingida e, em seguida, é efetuada uma descarga elétrica no cátodo, gerando-se uma diferença de potencial entre este e o ânodo, atingindo-se um plasma de pulverização. Este plasma não é mais que argônio ionizado, ou seja, íons positivos e negativos do argônio (Ar^+ e elétrons).

A diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo, promove a aceleração dos íons Ar^+ contra a superfície do alvo, ocorrendo a libertação de átomos da sua superfície. O íon positivo Ar^+ é o responsável pela pulverização eficiente do alvo. Como resultado da pulverização, são libertados átomos do alvo. Os elétrons livres resultantes da pulverização do alvo, colidem com o argônio neutro (argônio que ainda não foi ionizado) que vai sendo introduzido na câmara, arrancando-lhe um elétron e transformando-o em Ar^+ (Figura 36). Este Ar^+ vai seguidamente exercer a pulverização do alvo. Depois do material de revestimento sofrer pulverização, ascende até ao topo da câmara, fundindo-se na superfície do substrato. A Figura 35 resume as fases do processo de deposição por pulverização.

A Figura 36, ilustra o processo de pulverização autossustentado, como referido anteriormente. Ar^+ colide com a superfície do material alvo, libertando átomos de material de revestimento, bem como elétrons desse mesmo material. Esses elétrons, por sua vez, vão

“chocar” com o árgon neutro, “dividindo-o” em átomos positivos (Ar^+) e negativos (elétrons), efetuando-se dessa forma a ionização do árgon.

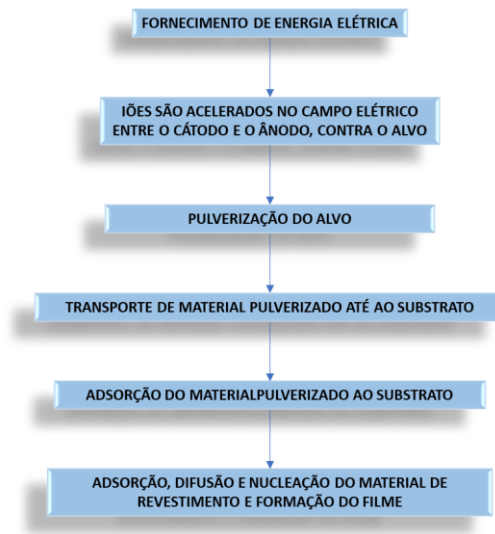


Figura 35. Fases da deposição por pulverização

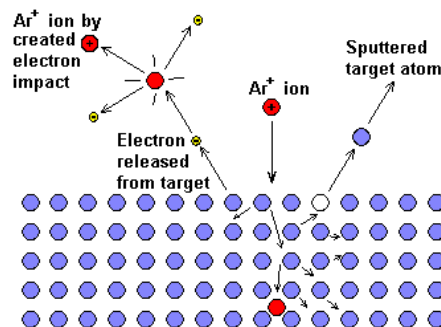


Figura 36. Pulverização autossustentada. www.oxford-vacuum.com²⁵

Apresenta-se na Figura 37 uma imagem ilustrativa do processo de pulverização.

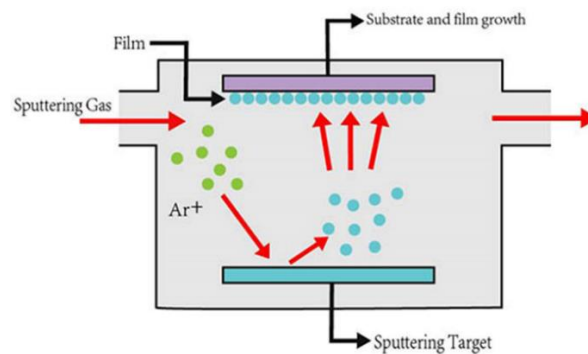


Figura 37. Deposição por pulverização. www.samaterials.com²⁶

No processo de pulverização, conforme as exigências do revestimento, pode ser introduzido um gás reativo, formando um composto com os átomos resultantes da pulverização. Esse processo é representado na Figura 38, onde é introduzido oxigênio que irá reagir com os átomos resultantes da pulverização.

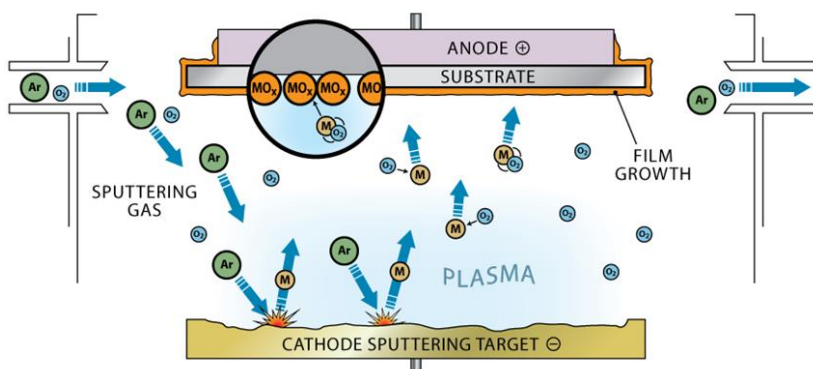


Figura 38. Processo de pulverização com gás reativo (no caso, oxigênio). (http://Inf-wiki.eecs.umich.edu/wiki/Sputter_deposition²⁷, pela Universidade de Michigan)

Apresenta-se seguidamente algumas características deste processo:

- processo físico e químico;
- usado para depositar compostos (óxidos e nitretos);
- composições obtidas: Al_2O_3 , AlN , TiO , TiN , SiO_2 , etc.;
- gases reativos usados: oxigênio e nitrogênio, por exemplo;
- se a pulverização ocorrer mais rapidamente que a reação química, então a reação entre os átomos e o gás reativo vai ocorrer no substrato;
- taxa deposição na ordem dos $100 \text{ \AA}/\text{min}$;
- pressão do processo para um plasma de pulverização sustentável: $10 - 100 \text{ mTorr}$.

Enumeram-se algumas vantagens e desvantagens do processo.

Vantagens:

- elementos puros, ligas e compostos podem ser depositados por pulverização;
- o material alvo proporciona uma fonte de pulverização estável e duradoura;
- o alvo de pulverização pode ter várias formas (retangular, oval ou circular, por exemplo);

- em algumas configurações, facilmente pode ser efetuada a deposição reativa, através da deposição de um gás reativo no plasma;
- reduzido calor radiante no processo de deposição;
- o alvo e o substrato podem permanecer próximos um do outro;
- a câmara onde ocorre o processo pode ter um volume reduzido;
- pode ser realizado tanto no sentido ascendente, como descendente, relativamente à trajetória no material a depositar;
- bom “*step coverage*” (na Figura 39 está representado um exemplo de bom *step coverage* versus mau *step coverage*).

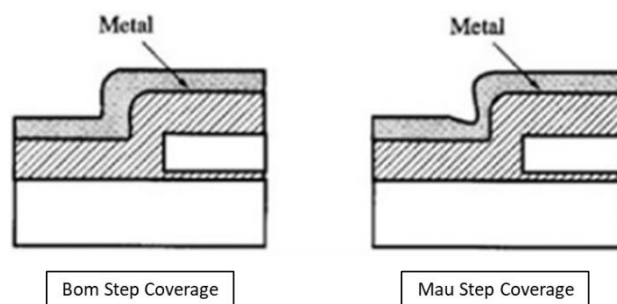


Figura 39. Comparação entre bom step coverage e mau step coverage (NE 343: Microfabrication and thin film technology. Instructor: Bo Cui, ECE, University of Waterloo; <http://ece.uwaterloo.ca/~bcui/>. Text book: Silicon VLSI Technology by Plummer, Deal and Griffin)²⁸

Desvantagens:

- Taxas de deposição baixas;
- Em algumas configurações, a distribuição do fluxo de deposição não é uniforme. Nesse sentido, é possível usar um sistema em que o substrato possui movimento de rotação e movimento angular;
- Os alvos de pulverização são geralmente caros;
- A maior parte da energia incidente no alvo transforma-se em calor que deve ser removido (aplicação de refrigeração abaixo do alvo, através de tubos onde circula água fria);
- Em alguns casos, gases contaminantes são ativados no plasma, podendo contaminar o filme de deposição;
- Na deposição por pulverização reativa, a composição do gás deve ser cuidadosamente controlada para evitar a contaminação do alvo de pulverização.

- Na pulverização reativa, quanto mais gás é introduzido, mais provável é ocorrer oxidação e nitretação do alvo.

Apresenta-se na Figura 40, alguns exemplos de materiais de revestimento usados no processo, bem como as formas que estes podem assumir.

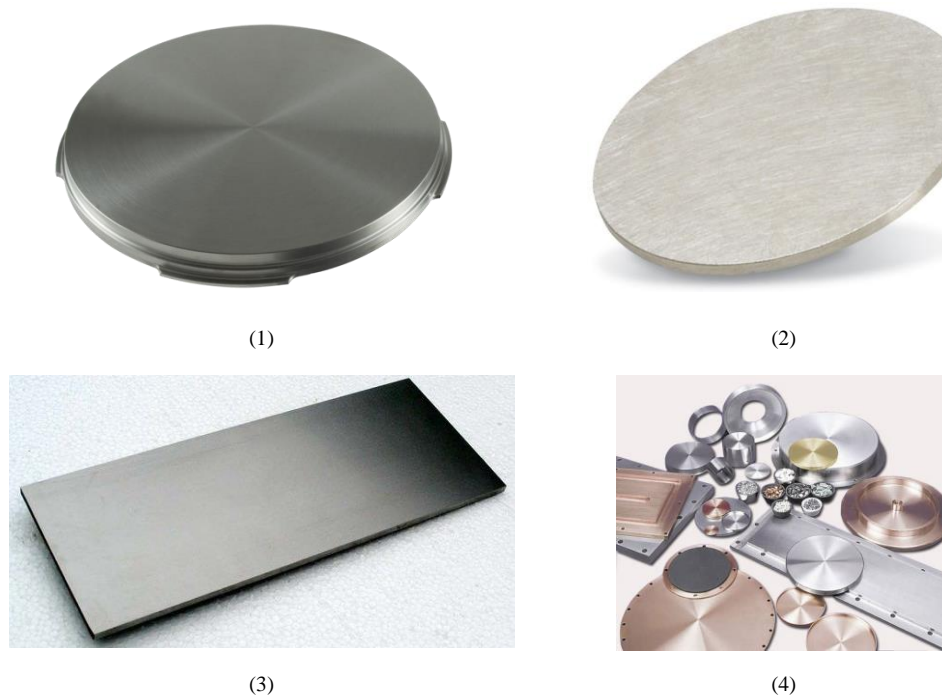


Figura 40. Tipos de targets (1) TiAl www.plansee.com²⁹; (2) prata www.lesker.com³⁰; (3) nióbio portuguese.tantalumniobium.com³¹; (4) formatos de targets www.magnetstek.com³²

Apresentam-se na Figura 41, dois exemplos de aplicação do processo de deposição por pulverização.

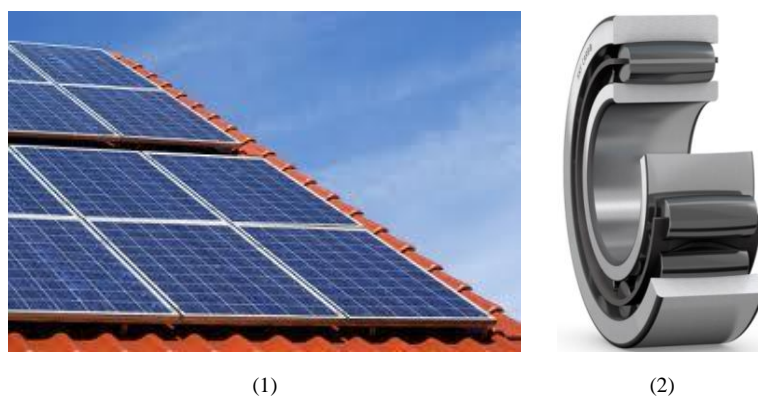


Figura 41. Aplicações do processo de deposição por pulverização (1) indústria da energia renovável (painéis solares) www.sputteringcomponents.com³³; (2) Rolamento com esferas toroidais, com revestimentos de material NoWear de baixa fricção <http://www.skf.com>³⁴

O material NoWear, é um revestimento de carbono resistente ao desgaste que pode ser aplicado aos elementos rolantes e às pistas dos anéis internos de um rolamento. (www.skf.com)

4.4. Deposição por Arco Catódico

A deposição por arco catódico é o método de deposição física de vapor colocado em prática na ID. O processo inicia-se com a introdução de um gás no interior da câmara, após ser atingida a pressão adequada para a realização do processo ($3,5 * 10^{-2}$ Pa). No caso da ID é introduzido o argon. Contudo, pode ser usado azoto ou oxigénio, conforme a finalidade do processo.

No processo é efetuada uma descarga elétrica no cátodo (alvo). Um iniciador de ignição que se encontra próximo de cada topo do cátodo promove a ionização do argon que se encontra envolto do cátodo, formando-se um arco elétrico (ou arco catódico). Este arco elétrico origina uma pequena área emissora de material evaporado do alvo, altamente energética, designada por “*cathode spot*”. Os iniciadores de ignição funcionam à vez, ou seja, primeiramente um dos iniciadores atua num dos topos, promovendo o início do processo de emissão/evaporação e, quando o processo atinge o outro topo do cátodo, o iniciador aí colocado promove o reiniciar do processo, no sentido oposto ao anterior.

A zona do *cathode spot* fica ativa por um período muito curto de tempo, caso contrário, ocorre emissão/evaporação excessiva de material, o que pode resultar numa deposição ineficaz de material no substrato. Após a extinção do *cathode spot*, forma-se uma pequena cratera, resultante da evaporação de material. O processo prossegue exatamente da mesma forma na área do cátodo imediatamente a seguir à área extinta. Este comportamento proporciona o movimento aparente do arco.

Neste ponto do processo, a câmara encontra-se preenchida por plasma (iões resultantes da evaporação do material alvo), que se depositam progressivamente no material a revestir (substrato). A Figura 42, resume o processo de deposição por arco catódico.

Na Figura 43 apresenta-se um esquema deste processo. Tem-se o cátodo numa das laterais da câmara e o material de substrato na lateral oposta. O material de revestimento que sofre evaporação, pode ser designado tanto por cátodo, como por alvo. O material de substrato,

embora representado na Figura 44 no local que se observa, pode ser colocado na base ou no topo da câmara, dependendo da especificidade do equipamento. Observa-se também na Figura 43 o plasma (material do alvo ionizado), que irá revestir o substrato. O termo descrito na Figura, *Bias Power Supply*, é uma espécie de “equipamento extra” ao sistema principal (nem todas as câmaras de deposição por arco catódico contêm este dispositivo auxiliar), que tem a função de proporcionar uma correta e eficiente uniformização do revestimento na superfície do substrato.

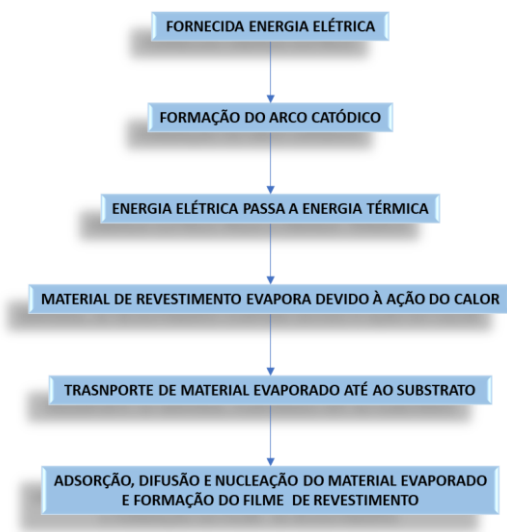


Figura 42. Fases da deposição por arco catódico

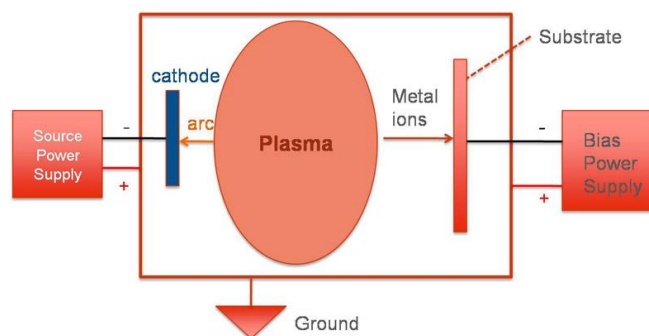


Figura 43. Processo de deposição por arco catódico. www.advancedenergyblog.com³⁵

Enumeram-se, seguidamente, algumas vantagens e desvantagens do processo analisado.

Vantagens:

- Todos os materiais eletricamente condutivos podem ser evaporados;
- O arco decorrente da descarga elétrica sobre o cátodo (alvo) proporciona um índice de ionização elevado;
- Deposição reativa é eficaz;
- Reduzido aquecimento radiante no arco elétrico desenvolvido no cátodo;
- A ocorrência de contaminação na superfície do alvo durante o processo de deposição reativa por arco catódico é muito menos problemática que a contaminação do alvo no processo de deposição reativa por pulverização
- Possibilidade de rotação de cátodos cilíndricos durante o processo, uniformizando a deposição;
- Podem ser usados campos magnéticos para separar as gotículas do fluxo de revestimento.

Desvantagens:

- Apenas materiais eletricamente condutivos podem ser evaporados;
- Pode ocorrer deposição na superfície do substrato de partículas com dimensões excessivas, ejetadas do alvo;
- Se o arco elétrico permanecer durante demasiado tempo numa mesma área do cátodo, pode ocorrer a ejeção excessiva de partículas, prejudicando o revestimento. Também o cátodo pode ser danificado pela referida permanência excessiva do arco elétrico numa mesma área.

A Figura 44, mostra dois exemplos de material de revestimento (alvo), usado no processo.



(1)



(2)

Figura 44. (1) alvo de tântalo <http://pt.target-sputtering.com>³⁶; (2) alvo de crómio <http://www.pvdtarget.com>³⁷

A Figura 45 mostra dois exemplos de aplicação do processo.

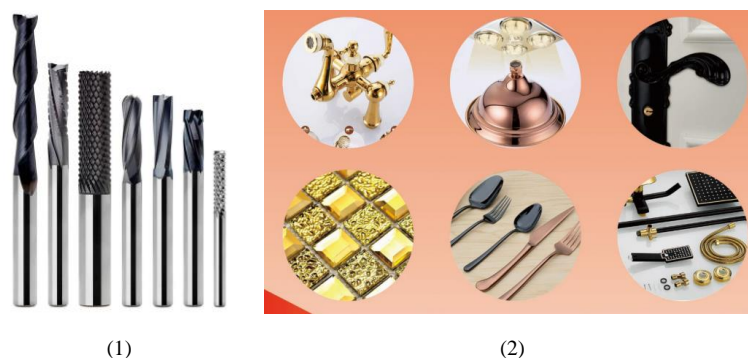


Figura 45. (1) ferramenta da corte www.enduracoatings.com³⁸; (2) peças decorativas e utensílios domésticos www.royal-source.com³⁹

A Tabela 3 apresenta uma síntese comparativa entre os processos de deposição física de vapor atrás descritos, relativamente a algumas características e parâmetros associados aos três processos, com base nas pesquisas efetuadas.

Tabela 3. Comparação entre os três processos

| | EVAPORAÇÃO | PULVERIZAÇÃO | ARCO CATÓDICO |
|--|---|---|--|
| Tipo de vácuo | Alto Vácuo | Baixo Vácuo | Alto Vácuo |
| Adsorção do revestimento ao substrato | Razoável | Elevada | Elevada |
| Direccionalidade do fluxo do revestimento | Altamente direccional | Disperso | Disperso |
| Taxa de deposição | 1 – 100 Å/segundo | 100 Å/minuto | 300 Å/minuto |
| Uniformidade do revestimento | Razoável | Muito bom | Bom |
| Fase do material a evaporar/pulverizar | Material fundido ou sólido | Sólido | Sólido |
| Pressão na câmara durante o processo | 10^{-2} Pa – 10^{-9} Pa | ~ 13 Pa | ~ 10^{-2} Pa (Na ID: 3,5 x 10^{-2} Pa) |
| Incorporação de gás reativo durante o processo | Não | Sim | Sim |
| Grau de pureza do processo | Superior aos restantes processos | Inferior à evaporação | Inferior à evaporação |
| Custo | Inferior à pulverização | Elevado | Inferior à pulverização |
| “Step Coverage” | Razoável | Bom | Bom |
| Material de deposição | Ag, Al, Au, Cr, Cu, Mo, W, Ni | Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mo, Si, Si ₃ N ₄ , Ti, TiO ₂ , AlN, Al, Cr, Au, Pt, Ag, AlSi, AlCu, TiW, Ni-Ti, Ni-Cr, Ni-Cu | TiCn, TiCrN, TiAlN, TiZrN, TiN, CrN, ZrN, |
| | Indústria da energia renovável, eletrónica orgânica, tecnologia | Filtros de interferência ótica, revestimentos de proteção para lentes, | Torneiras, pulseiras de relógios, armações de óculos, ferramentas de |

| | | | |
|------------|---|---|--|
| Aplicações | de exibição (OLED), fotônica, spintrônica, indústria aeroespacial, indústria ótica, tribologia, sistemas microeletromecânicos, revestimentos decorativos | espelhos, indústria da energia renovável, revestimentos condutivos, revestimentos duros para ferramentas, revestimentos de baixa fricção para superfícies de rolamentos, revestimentos anti corrosão para a indústria aeronáutica, semicondutores, equipamentos de visão noturna. | corte, indústria de moldes, indústria automóvel, componentes de maquinaria, superfícies decorativas |
| | | | |

4.5. Atividades desenvolvidas no âmbito do processo PVD

À data de início de estágio, a câmara onde se desenrola o processo PVD, vinha a ter alguns problemas que afetavam o seu eficiente funcionamento. Foi efetuado o acompanhamento dos trabalhos de reparação, promovendo-se um contacto com uma importante tecnologia de revestimento de materiais. A Figura 46 mostra a câmara de PVD usada na empresa.



Figura 46. Câmara onde se realiza o processo PVD na empresa

4.5.1. Componentes da câmara de PVD

A Figura 47 ilustra os componentes que participam no processo PVD.

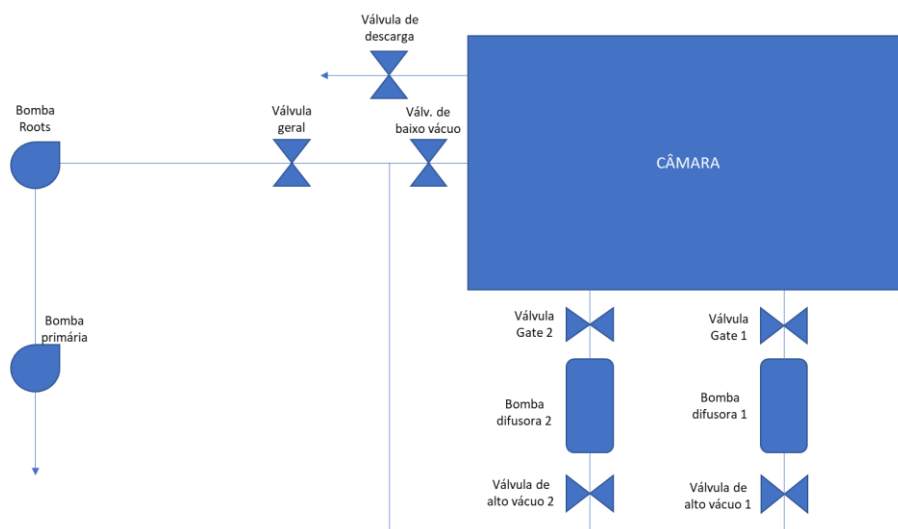


Figura 47. Esquema da disposição dos componentes que participam no processo PVD

É descrito seguidamente o funcionamento de cada componente interveniente no processo.

Bomba Primária

A bomba primária é uma bomba de alhetas. Neste tipo de bomba, um rotor cilíndrico com alhetas que se deslocam em rasgos radiais, gira dentro de um corpo circular, em torno de um eixo/veio (sendo este eixo excêntrico relativamente ao corpo circular). Pela ação da força centrífuga, as alhetas tendem a sair do rotor, fazendo contacto permanente com a face interna do corpo da bomba. As alhetas dividem o espaço existente entre o corpo da bomba e o rotor, numa série de câmaras que variam de tamanho de acordo com sua posição ao longo do espaço entre o rotor e a superfície interna da bomba. O fluido é “aspirado” pela bomba, devido ao vácuo gerado pela expansão da área entre o rotor e a superfície interna da bomba e, em seguida, é transportado para a saída da bomba, com a dimensão das câmaras a reduzir progressivamente, forçando o fluido a seguir o seu trajeto. Este tipo de bomba pode gerar um vácuo de cerca de 10 Pa.

A figura 48 mostra a bomba primária presente na empresa, que participa no processo PVD. A Figura 49 ilustra como opera a bomba de alhetas. É possível observar alhetas em diferentes pontos, relativamente à profundidade dos rasgos. A força centrífuga tende a fazer sair as alhetas de dentro dos rasgos. O fluido que se encontra entre duas alhetas consecutivas é transportado desde a entrada da bomba até à sua saída.



Figura 48. Bomba primária

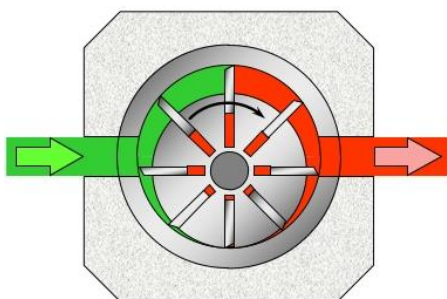


Figura 49. Bomba de alhetas (transporte do fluido no interior da bomba)
<https://pt.slideshare.net/LucasCR12/grupo-de-acionamento>⁴⁰

Bomba Roots

Este tipo de bomba possui 2 rotores em forma de 8, que giram em sentidos opostos em torno dos seus respectivos eixos, aspirando dessa forma o ar. É considerada uma bomba seca, uma vez que não necessita de lubrificação para operar, pois os rotores não contactam entre si durante o funcionamento. Num sistema de vácuo, trabalha em conjunto com uma bomba de pré-vácuo (bomba primária, no caso). Quando a bomba de pré-vácuo se sobrecarrega, a bomba Roots entra em funcionamento, aliviando o trabalho da bomba de pré-vácuo. Apresenta-se seguidamente a Figura 50 e 51, onde se pode observar, respetivamente, a bomba Roots que participa no processo PVD da ID e um esquema ilustrativo de como este tipo de bomba opera.

Esta bomba baixa a pressão de serviço em uma ordem de grandeza, ou seja, se na bomba primária o valor da pressão for de cerca de 10 Pa, à saída da bomba Roots, tem-se cerca de 1 Pa.



Figura 50. Bomba Roots

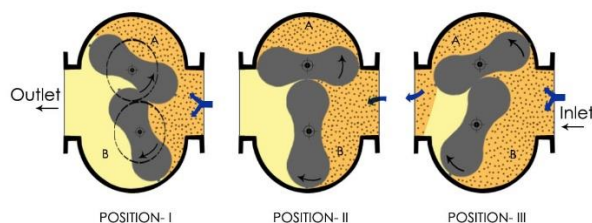


Figura 51. Princípio de funcionamento da bomba Roots. <http://supervacindustries.blogspot.com>⁴¹

Bomba Difusora 1 e 2

Esta bomba não é constituída por partes móveis, contrariamente à generalidade das bombas. É conhecida como bomba de arrastamento de fluido. Usa o vapor de um líquido em ebulição (óleo de silicone, no caso) para capturar as moléculas de ar. A Figura 52, esquematiza o corpo de uma bomba difusora.

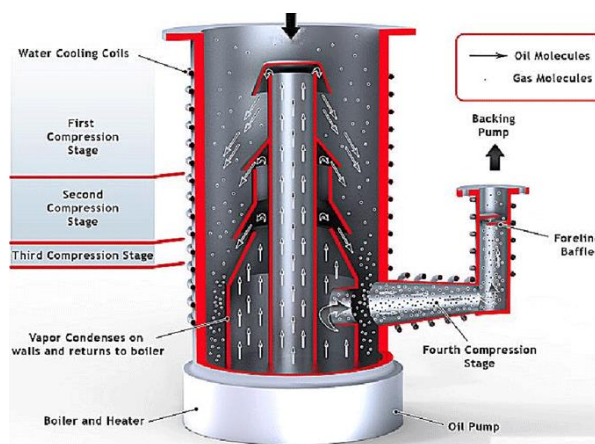


Figura 52. Bomba difusora. <https://vacaero.com>⁴²

Na base da bomba, encontram-se os aquecedores, responsáveis pelo aquecimento do óleo até à sua evaporação. Conforme o sistema, este óleo pode encontrar-se num reservatório acima do aquecedor (caso dos aquecedores usados na empresa) ou por entre as alhetas do próprio aquecedor (Figura 54 e 55). A Figura 53 mostra as bombas difusoras usadas na empresa.



Figura 53. Bombas difusoras (1 e 2) usadas na empresa

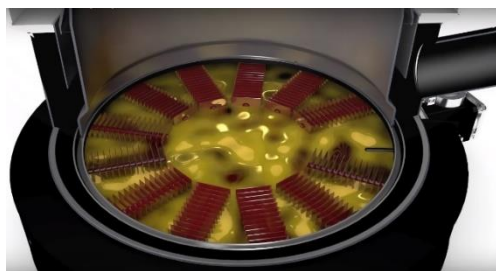


Figura 54. Exemplo de um aquecedor de óleo circular. www.leybold.com⁴³

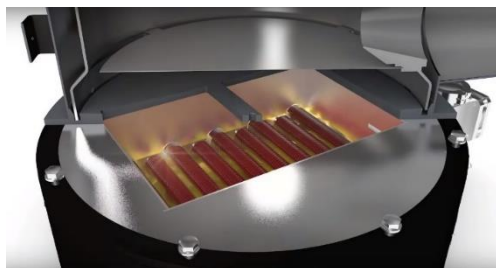


Figura 55. Exemplo de um aquecedor de óleo longitudinal. www.leybold.com⁴⁴

O óleo, depois de vaporizar, sobe pelo centro da bomba, saindo pelos bicos ejetores (ou *nozzles*) num ângulo descendente e a alta velocidade. Estes bicos estão seguros numa espécie de anel e durante o processo forma-se uma cortina ou “saia” de vapor que se estende dos bicos até à parede da bomba.

Quaisquer moléculas de ar (ou de outro gás) que vagueiam na área abrangida pelo óleo vaporizado ejetado, são capturadas/aspiradas no sentido descendente. Quando o vapor de óleo atinge as paredes da bomba refrigeradas por água fria, começa a arrefecer progressivamente, condensando, tomando assim o sentido descendente, até à base da bomba. A Figura 56 ilustra as referidas “saia” de óleo vaporizado, bem como o tubo de refrigeração envolvendo a bomba.

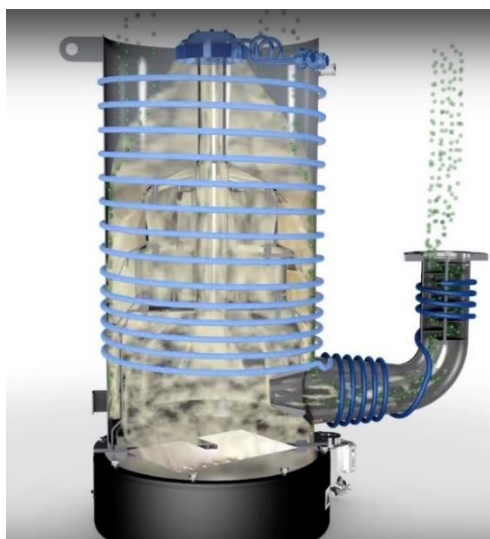


Figura 56. Princípio de funcionamento de uma bomba difusora. www.leybold.com⁴⁵

Forçando-se continuamente as moléculas de gás a seguir o caminho descendente, forma-se uma área na parte inferior da bomba que tem uma pressão superior comparativamente à parte superior. Por outras palavras, quando a bomba está em operação, a pressão é maior abaixo de cada “saia” de óleo ejetado do que acima dessa mesma “saia”. Na parte inferior da bomba, a pressão gerada é alta o suficiente para que o gás seja bombeado por uma bomba mecânica padrão para o exterior, através de um tubo de escape, também envolto por pequenos tubos com água fria, tendo a função de condensar pequenas porções de óleo que tenham seguido juntamente com o ar. Embora o vapor de óleo seja direcionado descendente, é possível que pequenas gotículas passem em direção ao topo da bomba. Para evitar que esse óleo migre para a câmara, pode ser colocada uma tampa fria no topo do conjunto do bocal para

condensar o vapor de óleo nessa área. Um defletor circular, designado por *inline baffle* (Figura 57), colocado na boca da bomba (Figura 58), permite que as moléculas de ar entrem na câmara, mas retém os vapores de óleo que tentam escapar para o seu interior (esses vapores são mais pesados que o gás a retirar da câmara).



Figura 57. Inline baffle. www.idealvac.com⁴⁶

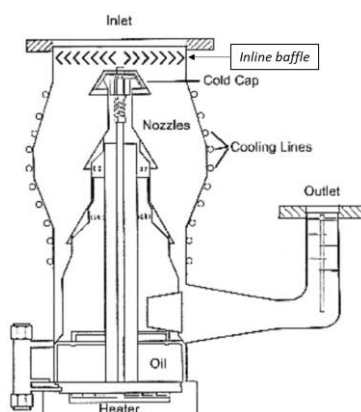


Figura 58. Bomba difusora (no topo da bomba encontra-se o inline baffle). Adaptado de: www.tungsten.com⁴⁷

Também na boca do tubo de escape pode ser colocado um dispositivo designado por *foreline baffle* (Figura 59), com a função de reter a maior quantidade possível de pequenas quantidades de óleo que possam ter escapado.



(1)



(2)

Figura 59. (1) e (2) Foreline baffle aplicado no tubo de escape. www.idealvac.com^{48,49}

É a ação das duas bombas difusoras que faz atingir a pressão final pretendida no interior da câmara de vácuo ($3,5 * 10^{-2}$ Pa).

Válvula Gate 1 e 2

As válvulas Gate são válvulas de guilhotina com comando e acionamento elétrico. Quando acionada, impede a passagem do fluido na tubulação, pela sua obstrução, através de uma “porta” (circular ou retangular) ou de uma cunha. As superfícies de vedação entre a “porta” e as sedes são planas. São usadas totalmente abertas ou totalmente fechadas. A Figura 60 mostra as duas válvulas Gate usadas no processo.

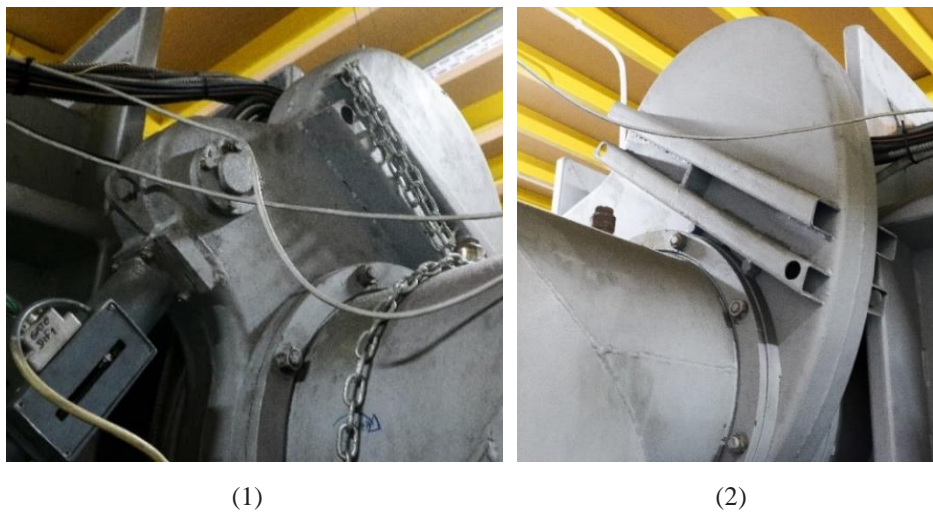


Figura 60. (1) válvula Gate 1; (2) válvula Gate 2

A Figura 61 ilustra o princípio de funcionamento de uma válvula do tipo Gate.

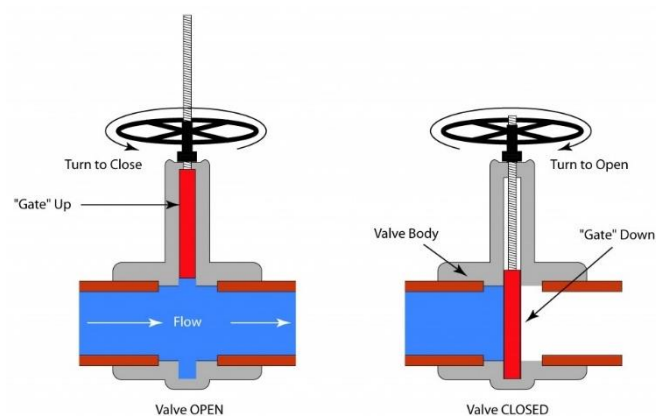


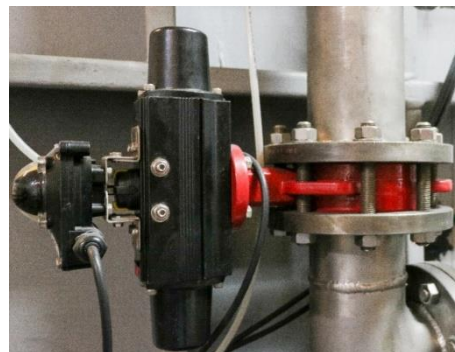
Figura 61. Princípio de funcionamento de uma válvula do tipo Gate (abertura e fecho).
<https://techblog.ctgclean.com>⁵⁰

Válvula de baixo vácuo e válvula geral

Estas válvulas são do tipo borboleta com comando elétrico e acionamento pneumático. Impede ou regula a passagem de um fluido numa rede hidráulica. Possui um disco, posicionado ao centro da válvula, que cobre toda a área da secção tubular. A rotação do atuador faz o disco girar para uma posição paralela ou perpendicular ao fluxo hidráulico. O disco está sempre presente dentro do fluxo, portanto uma queda de pressão é sempre induzida no fluxo, independentemente da posição da válvula. Na Figura 62, mostra-se a válvula de baixo vácuo e a válvula geral, usadas no processo.



(1)



(2)

Figura 62. (1) Válvula de baixo vácuo (válvula de borboleta) e (2) Válvula geral (válvula de borboleta)

Na Figura 63, mostra-se o tipo de disco comumente usado neste tipo de válvula.



Figura 63. Mecanismo de uma válvula de borboleta. www.intervalvulas.com.br⁵¹

Válvula de Alto Vácuo 1 e 2 e válvula de descarga

São válvulas de diafragma com comando e acionamento elétrico. O funcionamento deste tipo de válvula consiste numa pressão que é exercida por um compressor (ligado a uma haste e este, por sua vez, ligado a um volante), sobre um diafragma (membrana elástica), pressionando-o contra uma “sela” ou assento, impedindo assim a passagem do fluido no interior da tubulação. Na Figura 64 e 65, mostra-se as válvulas de alto vácuo (1 e 2) e a válvula de descarga, respetivamente.

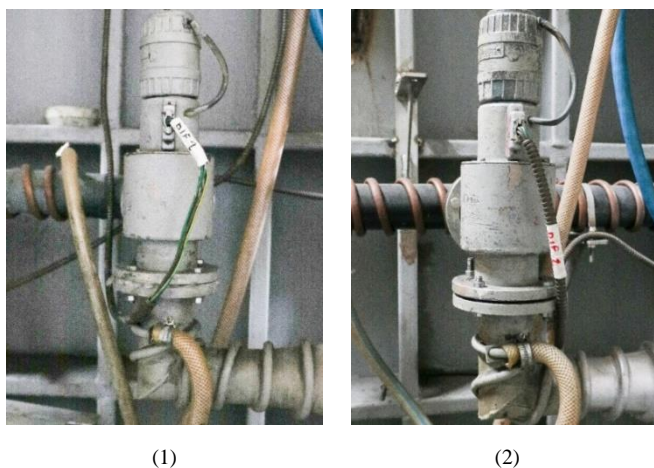


Figura 64. (1) e (2) Válvulas de alto vácuo 1 e 2 (válvulas de diafragma)



Figura 65. Válvula de descarga (válvula de diafragma)

A Figura 66, ilustra o princípio de funcionamento de uma válvula de diafragma. A haste exerce uma determinada pressão sobre o diafragma (membrana elástica), empurrando-o contra a o assento, impedindo assim a passagem do fluido.

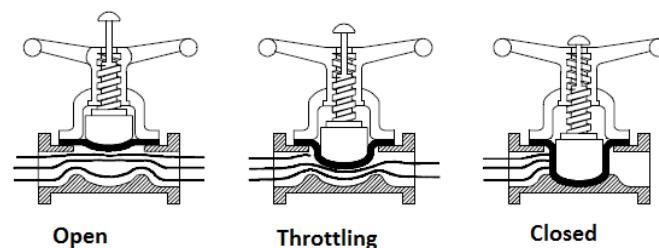


Figura 66. Princípio de funcionamento da válvula de diafragma. Adaptado de: <http://hvac-system-basics.blogspot.com>⁵²

4.5.2. Sequência do processo para obtenção de vácuo

Para que o processo decorra eficientemente, é necessário atingir um nível de vácuo de cerca de 0,035 Pa. Para se atingir este valor, ocorre uma primeira fase, designada de baixo vácuo, em que apenas a bomba primária e a bomba Roots se encontram em funcionamento, até se atingir uma pressão de cerca de 15 Pa. Embora nesta fase as válvulas Gate 1 e 2 permaneçam “OFF” (válvulas que fazem a ligação das bombas difusoras à câmara), as bombas difusoras são ligadas para que, atempadamente, o óleo seja aquecido e, aquando do começo da fase posterior ao baixo vácuo (o alto vácuo), estas desempenhem a sua função eficientemente. Na verdade, as bombas difusoras assumem o estado “ON”, assim que os aquecedores são ligados, embora não exerçam a sua função imediatamente. A Figura 67 mostra os componentes intervenientes nesta fase de baixo vácuo, indicando o seu “estado”.

| BAIXO VÁCUO | |
|----------------------|-----|
| Bomba Primária | ON |
| Bomba Roots | ON |
| Válvula Geral | ON |
| Válvula Baixo Vácuo | ON |
| Válvula Gate 1 | OFF |
| Válvula Alto Vácuo 1 | OFF |
| Válvula Gate 2 | OFF |
| Válvula Alto Vácuo 2 | OFF |
| Válvula de Descarga | OFF |

Figura 67. Componentes intervenientes na fase de baixo vácuo e seu “estado” durante o mesmo

Atingida esta fase, fecha-se a válvula de baixo vácuo e colocam-se em funcionamento as bombas difusoras, com a abertura das válvulas Gate. Neste ponto do processo, entra-se na fase de alto vácuo, onde se pretende atingir a referida pressão de $3,5 \cdot 10^{-2}$ Pa. A Figura 68 mostra os componentes intervenientes nesta fase, indicando o seu “estado”.

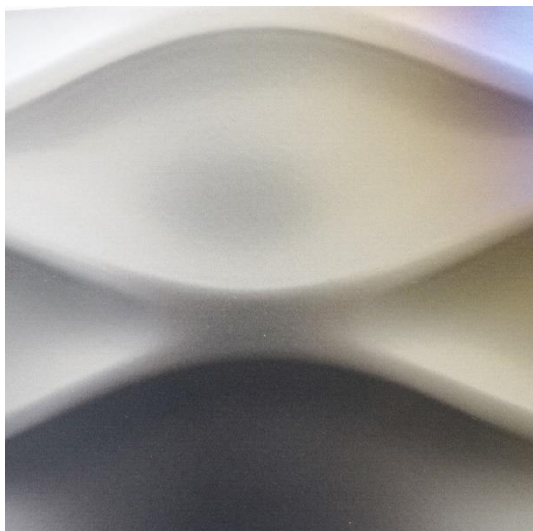
| ALTO VÁCUO | |
|----------------------|-----|
| Bomba Primária | ON |
| Bomba Roots | ON |
| Válvula Geral | ON |
| Válvula Baixo Vácuo | OFF |
| Válvula Gate 1 | ON |
| Válvula Alto Vácuo 1 | ON |
| Válvula Gate 2 | ON |
| Válvula Alto Vácuo 2 | ON |
| Válvula de Descarga | OFF |

Figura 68. Componentes intervenientes na fase de alto vácuo e seu “estado” durante o mesmo

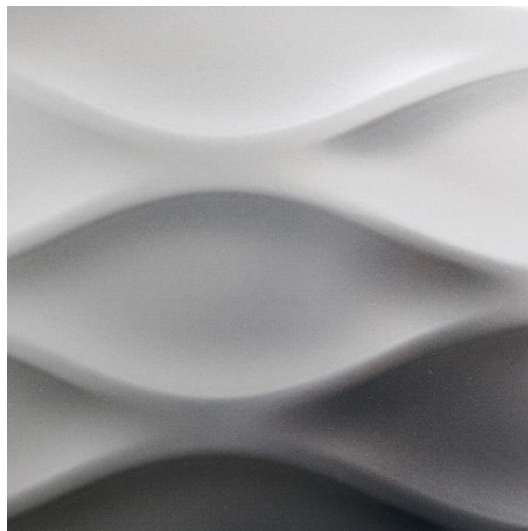
Atingido o nível de vácuo pretendido, dá-se início à deposição de titânio (material do alvo usado no processo), com a respetiva deposição de gás (por exemplo, árgon), desencadeando-se o processo de deposição física de vapor, através do método de deposição por arco catódico.

4.5.3. Reparação da câmara onde se realiza o processo PVD

À data de início de estágio, a máquina onde ocorre o processo PVD (concretamente, a câmara de vácuo), apresentava o seguinte problema: as cores do filme de revestimento das peças cerâmicas saíam com um tom excessivamente amarelado, relativamente ao que se considerava o padrão. Tal facto ocorria para qualquer tom que se pretendesse produzir. Notar que, neste processo, é usado um cátodo (ou *target*) de titânio como material de revestimento. Durante o processo, é introduzido um determinado gás reativo, no caso, árgon. O que confere a obtenção de uma determinada cor específica, é o tempo do próprio processo, ou seja, usando o mesmo material do cátodo (titânio) e introduzindo o mesmo gás reativo, árgon, obtém-se cores diferenciadas, dependendo do tempo em que é deixado o processo a decorrer. Nesse sentido, podem ser obtidas as mais variadas cores, desde roxos a dourados. Na Figura 69, pode-se constatar a diferença de tonalidades entre uma peça com a cor pretendida e uma peça com a cor alterada (tons amarelados), devido a ineficiência do processo.



Peça não conforme



Peça conforme

Figura 69. Comparação entre peça com cor anômala e peça com cor pretendida

O detetor de fugas foi ligado à tubagem do sistema. Foi injetado hélio em pequenas quantidades, em diversas zonas do sistema (soldaduras, juntas, válvulas, etc.). Quando existe uma fuga na zona analisada, o hélio entra no sistema (uma vez que a câmara se encontra em vácuo), sendo a sua presença detetada.



Figura 70. Detetor de fugas (Helium Leak Detector)

Constatou-se a existência de algumas fugas em determinadas zonas de soldadura, pelo que era então necessário selá-las. Não sendo possível localizar com absoluta exatidão as referidas fugas, optou-se por soldar algumas arestas da câmara, uma vez ter sido nessas zonas que se detetou a maior quantidade de fugas. No sentido de precaver alguma anomalia decorrente de algum cordão de solda coim deficiência, optou-se por revestir as zonas soldadas com uma

resina epóxica de baixo grau de gaseificação, mostrando-se o efetuado na Figura 71 (após o contacto com vários fabricantes, a empresa optou pela resina Loctic EA 9492).



Figura 71. Revestimento do cordão de soldadura com resina epóxica

A existência de produtos que gaseificam facilmente, contribuem para tempos de alto vácuo muito elevados e, consequentemente, perda de produção, daí o cuidado na seleção do tipo de resina. Após a reparação, efetuaram-se testes, tendo sido constatado o debelar do problema de fugas.

5. Manutenção

Uma das principais atividades desenvolvidas no decorrer do estágio passou por contribuir para melhorar os procedimentos de manutenção executados pela empresa. Neste contexto, após uma abordagem inicial, identificou-se como prioritário proceder à definição de Indicadores de Manutenção. Este capítulo descreve a participação nestas atividades. Assim, inicialmente enquadra-se a componente teórica associada ao tema e, posteriormente, descreve-se aquilo que se efetuou na prática.

5.1. Conceitos de Manutenção

Apresenta-se na secção 5.1, o “Estado da Arte” da atividade Manutenção, com referência ao seu processo e evolução ao longo do tempo, e a descrição de conceitos básicos associados.

5.1.1. O que é a Manutenção?

Os equipamentos, após a sua conceção e, concretamente, depois de iniciarem a função para a qual foram projetados, ficam sujeitos a um processo de deterioração. Para que este processo seja retardado, no sentido de garantir o ciclo de vida para o qual foram projetados, implica colocar em prática ações de inspeção e de intervenção de manutenção (preventiva ou corretiva) nos mesmos. A estas ações, que mantêm ou melhoram o desempenho dos equipamentos, dá-se o nome de manutenção.

Segundo a Norma EN 13306 (2007) - Terminologia da Manutenção - manutenção pode ser descrita como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida”.

De acordo com Farinha (1997), e como referido em Cassiano (2017), a manutenção pode ser definida como “a combinação de ações de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens, para otimização dos seus ciclos de vida”.

Cabral (2006), e também referido em Soares (2015), define manutenção como o “conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações,

garantindo que elas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global otimizado”.

Para Pinto (1994), e também referido em Cassiano (2017), manutenção pode ser definida como um “conjunto integrado de atividades que se desenvolvem em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou instalação e que visam manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança”. Este autor considera que a importância da Manutenção assenta em três razões principais: económicas, legais e sociais, tal como se ilustra na Figura 74.



Figura 72. Importância da Manutenção (adaptado de Fertuzinhos 2013)

5.1.3. Evolução histórica da Manutenção

A evolução da manutenção passou por diferentes fases ao longo da sua história. Numa primeira fase, a manutenção não tinha qualquer planeamento e os equipamentos eram reparados apenas quando avariavam ou atingiam um estado crítico de funcionamento. Numa segunda fase foram iniciados procedimentos para a elaboração de planos de manutenção preventiva, aumentando assim os custos associados à manutenção. Por fim, numa terceira fase, a manutenção começou a ser apoiada por sistemas e programas desenvolvidos para o efeito, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e, consequentemente, a produtividade. A Tabela 4 resume a evolução da manutenção ao longo do tempo.

Tabela 4. Etapas da história da Manutenção

| 1ª GERAÇÃO 1940 - 1950 | 2ª GERAÇÃO 1960 - 1970 | 3ª GERAÇÃO DESDE 1980 |
|---------------------------|--|---|
| Reparar quando danificado | Revisões programadas | Monitorização de condição |
| | Sistemas de planeamento e controlo dos trabalhos | Elevada disponibilidade, fiabilidade e manutibilidade |
| | Computadores grandes e lentos | Computadores pequenos e rápidos |
| | Aumento da disponibilidade dos equipamentos | Análise dos modos e efeitos das avarias |
| | Aumento da vida dos equipamentos | Elevado grau de segurança |
| | | Melhor qualidade do produto |
| | | Redução do impacto ambiental |
| | | Equipas de trabalho polivalentes |

5.1.4. Modelo de Manutenção TPM (Total Productive Maintenance)

Ao longo da evolução histórica da manutenção foram sendo definidos conceitos destinados a promover uma manutenção cada vez mais eficiente. Um desses conceitos designa-se por TPM (Total Productive Maintenance), tendo surgido no Japão no início da década de 70, no grupo Toyota. Destaca-se, neste conceito, o princípio do envolvimento ativo dos colaboradores da área da manutenção. Esta visão tira partido dos conhecimentos e experiências do operador de máquinas e equipamentos, o que lhe concede uma posição privilegiada relativamente às condições de funcionamento e prevenção de avarias.

A TPM é uma política de manutenção que abrange a participação de todos os colaboradores, desde os operadores das máquinas, técnicos de manutenção, até ao nível superior de gestão, passando pelos quadros intermédios. Segundo Takahashi (1981), como referido em Farinha (2011), este conceito assenta em cinco componentes fundamentais:

1. Estabelecer objetivos que maximizem a eficácia de instalação;
2. Estabelecer um sistema global de manutenção produtiva que cubra integralmente o ciclo de vida da instalação;
3. Obter o envolvimento de todos os departamentos, tais como, de planeamento, de operações e de manutenção;
4. Obter a participação de todos os membros, desde a chefia superior aos operários;

5. Reforçar a motivação do pessoal, criando pequenos grupos autónomos de manutenção produtiva.

Este conceito visa a eliminação de falhas, defeitos e outras formas de perdas e desperdícios, contribuindo para a maximização da eficiência e da eficácia dos processos produtivos, com a participação de todos, a todos os níveis hierárquicos da empresa, tal como se resume na Figura 73.

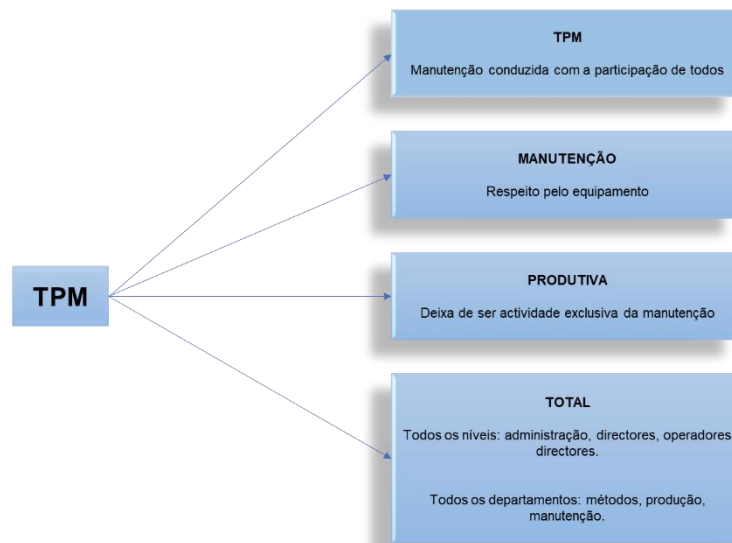


Figura 73. Conceito de TPM (adaptado de Raminhos 2010)

O conceito TPM é suportado por oito pilares básicos:

1. Melhorias individualizadas nas máquinas - *Kaiser Improvement*;
2. Estruturação da manutenção autónoma – *Job enlargement*;
3. Estruturação da manutenção planeada - *Maintenance Requirement Planning*;
4. Formação para incremento das capacidades do operador e do técnico da manutenção - *On the Job Training*;
5. Controlo inicial dos equipamentos e produtos – *Initial Control*;
6. Manutenção da qualidade;
7. TPM nos escritórios (preparação e programação de trabalhos);
8. Higiene, segurança e controlo ambiental.

Segundo Cabral (2006), e também referido em Fertuzinhos J. (2013), a aplicação da TPM permite eliminar um conjunto de aspetos negativos, habitualmente designados como as sete grandes perdas:

1. Perda por avaria ou falha – paragens acidentais
 - São os fatores que mais prejudicam a eficiência, e que podem resultar na quebra ou na paragem de função. A primeira é aquela que ocorre de modo repentino; a segunda, a que reduz a função do equipamento em relação à função requerida;
2. Perda por mudança de produto e afinações (*setup*)
 - Perdas decorrentes da ferramenta, concretamente, carregamentos dos programas referentes a cada peça produzida. Considera-se tempo de *setup* o tempo registado desde a última peça do lote anterior até à primeira peça do lote seguinte;
3. Perdas em moldes e ferramentas
 - Perdas decorrentes das ferramentas ou moldes, como, por exemplo, paragens obrigatórias para lubrificação;
4. Pequenas paragens e funcionamento sem carga
 - Perdas decorrentes de operação em vazio do equipamento. Por exemplo, o encravamento de uma peça transportada por um alimentador numa linha de produção. Trata-se de paragens momentâneas do equipamento. O equipamento volta a operar normalmente assim que a peça encravada seja retirada, podendo ser necessário efetuar o rearranque do equipamento;
5. Quebra de velocidade/aumento do tempo do ciclo
 - Relativo a situações onde existe necessidade de reduzir a velocidade nominal do equipamento, devido à especificidade do produto produzido ou a problemas mecânicos do equipamento quando opera a velocidade nominal, em determinados contextos de produção;
6. Produtos defeituosos
 - A existência de um produto defeituoso na linha (mas passível de recuperação), para além de provocar perdas a nível de produção, provoca perdas extra, uma vez necessitar de trabalho suplementar que não estava previsto, para se efetuar a recuperação do componente. Esse tempo de restauro é considerado como perda, uma vez que é necessário tempo

adicional, relativamente ao tempo de ciclo previsto, para recuperação da peça defeituosa;

7. Arranque das máquinas

- Perda decorrente entre o início da produção e a estabilização do processo. Poderá resultar da falta de manutenção, uso de ferramenta inadequada ou falta de prática do operador.

5.1.5. Modelo de Manutenção RCM (Reliability Centered Maintenance)

O modelo RCM teve origem na década de 1960, concretamente, na indústria aeronáutica. Por esta altura, os custos de manutenção eram de tal forma elevados, que houve a necessidade de desenvolver investigação nesta mesma área. Este método promove a otimização de recursos, usando-os para desenvolver e refinar programas de manutenção. As tarefas de manutenção geradas a partir da análise RCM são justificadas pelos dados reais de desempenho do equipamento, em vez de depender apenas das especificações do fabricante.

Segundo Schwan (1999), e como referido em Usrey e Wilmeth (2000), o objetivo do RCM passa por criar estratégias de manutenção de rotina que preservem funções importantes do sistema/equipamento da maneira mais económica possível. De acordo com Moubray (1997), e como referido em Fertuzinhos (2013), esta metodologia é utilizada para determinar as necessidades de manutenção de um bem físico inserido no seu contexto operacional. Em termos práticos, o RCM faz um diagnóstico dos fatores que contribuem para a falta de fiabilidade de um equipamento, gerando igualmente as medidas a tomar para restabelecer a fiabilidade.

Podem enumerar-se sete passos a seguir para implementar um estudo RCM (Schawn (1999), e como referido em Usrey e Wilmeth (2000)):

1. Selecionar a área do processo produtivo para a aplicação da metodologia;
2. Definir as funções e parâmetros desejados - definir o que o equipamento é capaz de fazer e o que se pretende que este faça;
3. Especificar as funções mais importantes do equipamento ou sistema;
4. Identificar os modos de falha dominantes relativamente às funções mais importantes;

5. Identificar os modos críticos de falha. As consequências da falha são avaliadas para cada modo de falha dominante para determinar a sua gravidade. Se for grave, o modo de falha é considerado crítico. Os modos de falha não crítica não são considerados no estudo;
6. Identificar as causas de falha dominantes. São identificadas apenas para os modos de falha considerados críticos;
7. Selecionar as tarefas de manutenção a colocar em prática e, posteriormente, ter em conta o *feedback* do pessoal da manutenção - redesenhar componentes e sistemas, se necessário; avaliação da introdução de novas tecnologias de manutenção.

5.1.6. Tipos de Manutenção

No âmbito daquilo que são as várias propostas dos autores especializados no tema, é consensual que a manutenção se estruture tal como se pode visualizar na Figura 74.

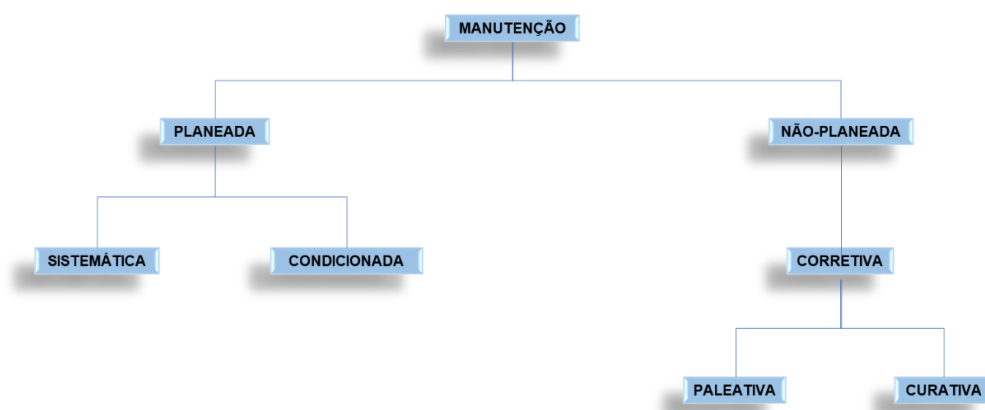


Figura 74. Tipos de Manutenção

A manutenção pode ser dividida em 2 grandes grupos: manutenção planeada e não-planeada. Segundo Farinha (2011), na manutenção planeada as intervenções obedecem a um programa previamente estabelecido que visa os seguintes objetivos:

- Evitar a ocorrência de avarias ou mau funcionamento e equilibrar a carga de trabalho de manutenção;
- Compatibilizar as intervenções com o programa de fabrico ou de serviço dos equipamentos;

- Preparar antecipadamente os recursos para tornar as intervenções mais económicas e eficazes.

Na manutenção não-planeada incluem-se todas as intervenções não programadas antecipadamente. Uma ação de manutenção não-planeada será, na generalidade dos casos, de carácter corretivo, supostamente curativa, podendo ainda ser paliativa (Farinha 2011). Abordar-se-ão adiante os termos aqui referidos.

A manutenção sistemática e a manutenção condicionada inserem-se no âmbito da manutenção preventiva. De acordo com a NP EN 13306 (2007), a manutenção preventiva é efetuada a intervalos de tempo pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um bem. Segundo Monchy (1989), e como referido em Silva D. (2013), a manutenção preventiva é uma intervenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento de uma falha.

Associadas à Manutenção Preventiva identificam-se ações de lubrificação, limpeza, ajustes (correção de folgas, tensões, entre outros), ensaios de teste do equipamento ou de uma parte específica do equipamento, revisão do equipamento (desmontagem, limpeza e substituição de peças).

Podem enumerar-se os seguintes benefícios associados à manutenção preventiva:

1. Redução do número de avarias em serviço;
2. Aumento da disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos;
3. Diminuição de intervenções corretivas e seu respetivo custo;
4. Aumento da duração de vida eficaz dos equipamentos;
5. Facilidade na gestão de *stocks* uma vez que os consumos são previstos;
6. Intervenções praticadas sem imprevisto, logo, com mais segurança;
7. Menores custos gerais de produção.

Manutenção Preventiva Sistemática

- De acordo com a NP EN 13306 (2007), como referido em Farinha (2011), a manutenção preventiva sistemática deve ser efetuada em intervalos de tempo

preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização, mas sem controlo prévio do estado do bem.

- Cabral (2009), como referido em Soares F. (2015), afirma que o intervalo das intervenções sistemáticas se baseia, inicialmente, nas informações dos fabricantes, embora se requeira sempre o contributo crítico do técnico para as afinar face ao cenário real de operação do equipamento.

Manutenção Sistemática Condicionada

- De acordo com a NP EN 13306 (2007), a manutenção preventiva condicionada deve incluir uma abordagem de acompanhamento da condição e/ou inspeção e/ou teste, assim como da análise, associada às ações de manutenção subsequentes.
- Algumas das técnicas de manutenção condicionada existentes para o controlo do estado da condição dos equipamentos são: análise de vibrações, análise ao estado de óleos e lubrificantes, termografia (identificação de mapas de distribuição de temperatura), análise de ruídos e controlo do desgaste.

Manutenção Corretiva

- De acordo com a EN 13306 (2007), é efetuada depois da deteção de uma avaria e destinada a repor um bem num estado em que pode realizar uma função requerida.
- Segundo Monchy (1987), como referido em Soares (2015), a manutenção corretiva pode ser subdividida em manutenção paliativa e manutenção curativa:
 - A manutenção paliativa acontece quando a manutenção corretiva é executada imediatamente após uma falha ter sido detetada, a fim de evitar consequências mais graves;
 - A manutenção curativa é quando as intervenções são efetuadas após a avaria, tendo um carácter definitivo.
- A Figura 75 resume a diferença entre os dois tipos de Manutenção Corretiva.

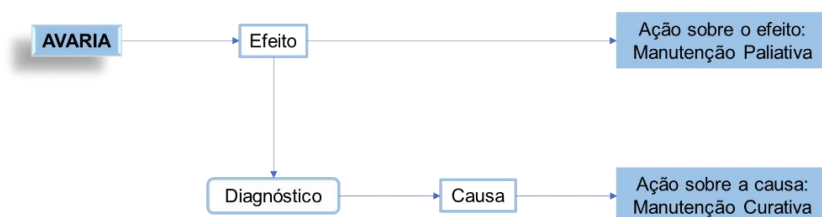


Figura 75. *Curativa vs. Paliativa* (adaptado de: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60372/1/000134625.pdf>)

5.1.7. Níveis de Manutenção

O conceito de *Níveis de Manutenção* define a natureza do trabalho a efetuar, bem como o responsável pela sua execução. A prática da manutenção, conforme a sua complexidade, poderá ser efetuada tanto pelos próprios operadores do equipamento, como pelo fabricante do equipamento. De acordo com a Norma AFNOR X 60-010, a manutenção e a exploração de um bem são exercidas através de muitas operações, por vezes repetitivas, por vezes ocasionais, podendo tal ser definido em cinco níveis distintos.

Manutenção de Nível 1

- Engloba ações simples previstas pelo construtor, necessárias ao bom funcionamento do equipamento, por meio de órgãos facilmente acessíveis sem a desmontagem do mesmo e realizada com toda a segurança. Este tipo de operação é realizado pelo operador do equipamento, sem necessidade de recorrer a ferramentas e usando o manual de utilização do equipamento. Implementa um conjunto de ações, nomeadamente:
 - Lubrificações diárias;
 - Purga de elementos filtrantes;
 - Controlo do entupimento de filtros;
 - Verificação de revestimentos e vedações;
 - Substituição de lâmpadas;
 - Substituição de peças desgastadas, em elementos simples e de fácil acesso.

Manutenção de Nível 2

- Envolve ações que requerem procedimentos simples e/ou equipamentos de apoio integrados no equipamento ou externos a este, de fácil utilização ou implementação, como reparações através de troca de elementos *standard* previstos para o efeito, operações menores de conservações e controlo do bom funcionamento. Este tipo de ação de manutenção é realizado por pessoal qualificado, no próprio local, seguindo procedimentos detalhados e com o apoio de equipamentos definidos nas instruções de manutenção. Poderá ser fornecido ao operador formação específica para o capacitar das tarefas a realizar. Implementa um conjunto de ações, nomeadamente:

- Controlo de parâmetros no equipamento, utilizando meios de medição;
- Ajustes simples (alinhamento da polia, alinhamento do motor da bomba);
- Controlo de dispositivos de corte (sensores, disjuntores, fusíveis), segurança, etc.;
- Substituição de filtros de difícil acesso;
- Verificação de redes de água;
- Substituição de fusíveis, cintos, filtros de ar, etc.;
- Substituição de componentes de desgaste, como corredeiras, rolos, correntes, fusíveis, cintos;
- Retoque de tintas e revestimentos;
- Substituição de tomadas elétricas e interruptores deteriorados.

Manutenção de Nível 3

- Ações que incluem operações que exigem procedimentos complexos e/ou equipamento de suporte portátil ou implementação complexa. Este tipo de operação de manutenção é executado por um técnico qualificado, usando procedimentos detalhados e equipamento de suporte previsto nas instruções de manutenção. Implementa um conjunto de ações, nomeadamente:
 - Controlo e configurações envolvendo o uso de dispositivos de medição externos ao equipamento;
 - Identificação e correção de fissuras;
 - Reparação de uma fuga de refrigerante (equipamentos de “frio”);
 - Recuperação de isolamentos;
 - Diagnóstico de condição com uso de equipamentos de suporte portátil e individual (autómato de bolso, multímetro);
 - Substituição de órgãos e componentes, como autómatos, cilindros, bombas, motores, engrenagens.

Manutenção de Nível 4

- Engloba operações cujos procedimentos exijam o domínio de uma técnica ou tecnologia específica e/ou a implementação de equipamento de suporte especializado. Este tipo de operação de manutenção é realizado por um técnico ou

por uma equipa especializada, seguindo instruções gerais ou específicas de manutenção. Implementa um conjunto de ações, nomeadamente:

- Análise de vibrações;
- Análise de lubrificantes;
- Termografia por infravermelhos;
- Levantamento de parâmetros técnicos que exigem meios coletivos de medição (osciloscópio, coletor, dados vibratórios) com análise de dados;
- Revisão de uma bomba na oficina, após a remoção;
- Substituição de válvulas de compressor;
- Reparação de uma bomba no local, após falha;
- Resolução de problemas de meios de produção através da utilização de meios de medição ou diagnóstico de grupo e/ou alta complexidade (programação de autómatos, sistemas de regulação e controlos digitais).

Manutenção de Nível 5

- Operações cujos procedimentos envolvam *know-how*, utilizando técnicas ou tecnologias específicas, processos e/ou equipamentos de suporte industrial. Por definição, este tipo de operações de manutenção (renovação, reconstrução, etc.) é realizado pelo fabricante ou por um serviço especializado ou empresa com equipamento de suporte definido pelo fabricante e, portanto, próximo da produção dos bens em causa. Implementa um conjunto de ações, nomeadamente:
 - Revisões gerais com desmontagem completa do equipamento;
 - Recuperação dimensional e geométrica;
 - Substituição de equipamentos obsoletos ou no limite de desgaste;
 - Recuperação completa de um revestimento, um piso ou um teto falso;
 - Reabilitação da impermeabilização de uma superfície.

5.1.8. Conceito de Bem, Falha e Avaria

Bem

- Considera-se como “bem”, qualquer elemento, componente, aparelho, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que pode ser descrito e considerado individualmente (NP EN 13306 (2007)).

Falha

- O conceito de “falha” pode ser considerado como o término da capacidade de um item para executar uma função requerida (NP EN 13306 (2007)). A causa de uma falha pode ser intrínseca, se for inerente ao próprio dispositivo, ou seja, prevista pelo fabricante através de ensaios normalizados de estudo de fiabilidade do dispositivo, ou extrínseca, quando resulta de uma falha de um outro dispositivo, ou por utilização incorreta ou acidente (Soares, 2015).
- Segundo Assis (2004), e como referido em Soares (2015), as causas essenciais de falha de um órgão podem classificar-se de acordo com as seguintes categorias:
 - Erros na fase de projeto;
 - Deficiências com origem no processo de seleção de materiais;
 - Defeitos no processo de fabrico;
 - Manutenção inadequada ou omissa;
 - Sobrecargas em serviço por acidente, ignorância ou negligência;
 - Condições de ambiente de operação imprevistas pelo fabricante.

Avaria

- O termo “avaría”, associado ao estado de um bem (ou item), é caracterizado pela sua inaptidão para desempenhar uma função requerida, excluindo a inaptidão devida à manutenção preventiva ou a outras ações programadas, ou à ausência de recursos externos (NP EN 13306 (2007)). Pode designar-se como avariado o estado de um equipamento que falhou (Assis, 2010).
- No cálculo dos Indicadores designa-se o “número de avarias” por “ N_{av} ”.

5.1.9. Conceito de Plano de Manutenção e Ordem de Trabalho

Plano de Manutenção

- A EN 13306:2007 define plano de manutenção como sendo um conjunto estruturado de tarefas que compreendem as atividades, os procedimentos, os recursos e o tempo requerido para executar a manutenção. Cabral (2009), e como referido em Soares (2015), propõe a seguinte metodologia para preparação de um Plano de Manutenção:
 - Eleger o equipamento tendo antes a sua decomposição em órgãos;
 - Estruturar o plano de manutenção preventiva, dividindo-o pelos vários tipos de trabalhos aplicáveis: A – Preventivas sistemáticas; B – Preventiva condicionadas; Etc.;
 - Dentro de cada tipo de trabalho escrever os títulos dos trabalhos a realizar: Revisão anual; Substituições de correias; Etc.;
 - Se necessário estruturar cada título por órgãos;
 - Elaborar as descrições dos trabalhos em blocos para cada um dos órgãos.

Ordem de Trabalho

- Depois de efetuada uma organização documental dos equipamentos com vista a colocá-los sob manutenção preventiva, torna-se necessário definir o documento que “faz andar” um sistema de gestão da manutenção, a Ordem de Trabalho (OT). Este documento é exclusivamente emitido pelo departamento de manutenção, tendo como principal função a indicação dos trabalhos a realizar. Outras funções da OT, são:
 - Definir quando, onde e quem faz os trabalhos;
 - Para além da mão-de-obra, indicar os recursos materiais necessários;
 - Fornecer instruções necessárias para a execução;
 - Permitir o registo dos trabalhos realizados;
 - Permitir um correto apuramento de custos, tanto em material como em mão-de-obra;
 - Servir de suporte para o apontamento da condição dos equipamentos e sugestões de trabalhos futuros.

5.1.10. Indicadores de Manutenção

É objetivo de qualquer empresa que os seus equipamentos funcionem da forma mais eficiente possível durante o processo produtivo. Os Indicadores de Manutenção são uma ferramenta que serve de controlo e análise do estado de operação em que os equipamentos se encontram.

A NP EN 15341 (2009), como referido na REVISTAMANUTENÇÃO, estabelece os indicadores de desempenho da manutenção, para apoio à gestão, de forma a atingir a excelência da manutenção e utilizar os bens imobilizados de uma maneira competitiva. A maioria destes indicadores aplica-se a todas as instalações industriais e serviços (edifícios, infraestruturas, transporte, distribuição, redes, entre outros). Estes indicadores deverão ser utilizados para:

- Medir o estado;
- Estabelecer comparações (*benchmarking* interno e externo);
- Diagnosticar (análise de pontos fortes e fracos);
- Identificar objetivos e definir metas a alcançar;
- Planear ações de melhoria;
- Medir continuamente os resultados das modificações ao longo do tempo.

Descrevem-se, seguidamente, alguns dos indicadores mais importantes que intervêm na manutenção.

MTBF - Mean Time Between Failures

O MTBF (Tempo Médio de Funcionamento entre Avarias), é um indicador que mede a média do tempo de funcionamento de um equipamento, entre avarias, para um determinado período de análise (por exemplo, para um turno de 8 horas de trabalho).

De acordo com a NP EN 13306 (2010), é a média dos tempos entre falhas.

Este indicador está diretamente relacionado com uma característica dos equipamentos – a fiabilidade. De acordo com a NP EN 13306 (2010), este termo designa a capacidade de um item para executar uma função requerida sob determinadas condições para um determinado

intervalo de tempo. Por outras palavras, mede o “grau de confiança” que o bem ou item oferece.

O cálculo do MTBF pode ser feito de acordo com a expressão seguinte.

$$MTBF = \frac{\sum TF_i}{N_{av}} \text{ [horas]} \quad (4.1)$$

Onde, TF_i é o número de horas de funcionamento do equipamento, entre a primeira avaria e a última avaria ocorrida dentro do período em análise e N_{av} , o número de avarias, isto é, o número de reparações (intervenções corretivas) realizadas dentro do período em análise. (Cabral 2006, Raminhos 2010)

MTTR - Mean Time to Repair

- O MTTR (Tempo Médio de Reparação), é um indicador que mede a manutibilidade do equipamento.
- De acordo com a EN 13306:2007, é a média dos tempos de reparação.
- O termo “manutibilidade”, segundo a NP EN 13306 (2007), define a aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos. O MTTR pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$MTTR = \frac{\sum TR_i}{N_{av}} \text{ [horas]} \quad (4.2)$$

Onde

TR_i define o tempo de reparação de cada avaria ocorrida no período em análise

N_{av} define o número de avarias, isto é, o número de reparações (intervenções corretivas) realizadas dentro do período em análise.

MWT - Mean Waiting Time

- O MWT (Tempo Médio de Espera) reflete a média dos tempos de espera de atendimento de pedidos de reparação/intervenção de avarias, num dado período em análise.

- De acordo a NP EN 13306 (2007), e como referido em Raminhos (2010), é definido como o intervalo de tempo durante o qual um bem está num estado de espera.
- O MWT é calculado a partir da seguinte expressão:

$$MWT = \frac{\sum WTi}{N_{av}} [\text{horas}] \quad (4.3)$$

Onde

WT_i é o tempo de espera de atendimento, de cada pedido de reparação, no período em análise

N_{av} o número de avarias, isto é, número de reparações (intervenções corretivas) realizadas dentro do período em análise.

OEE - Overall Equipment Efficiency

- O OEE (Eficiência Global do Equipamento) é um indicador global que mede o desempenho de uma unidade produtiva (máquina ou linha de produção) em três vertentes principais:
 - Disponibilidade - tempo útil do equipamento para funcionar/produzir;
 - Eficiência - o quanto o equipamento produz;
 - Qualidade - qualidade do produto concebido pelo equipamento no tempo planeado.
- O OEE permite identificar os fatores que influenciam negativamente a eficiência de uma unidade produtiva. Enumeram-se alguns fatores relativos a cada uma das vertentes citadas, que contribuem para a perda de eficiência (Raminhos 2010):
 - Perdas de disponibilidade:
 - Falhas/avarias no equipamento;
 - Trabalhos de mudanças, ajustes e calibrações;
 - Dificuldades no arranque (tempo de aquecimento, rotinas de teste);
 - Velocidade reduzida de trabalho (prolongamento do ciclo);
 - Operações não produtivas e pequenas paragens;
 - Falhas de processo, perdas de qualidade.
 - Perdas de eficiência:
 - Velocidade reduzida de trabalho (prolongamento do ciclo);

- Operações não produtivas e pequenas paragens.
- Perdas de qualidade:
 - Falhas de processo, perdas de qualidade.

A Figura 76 apresenta causas que poderão influenciar o OEE.

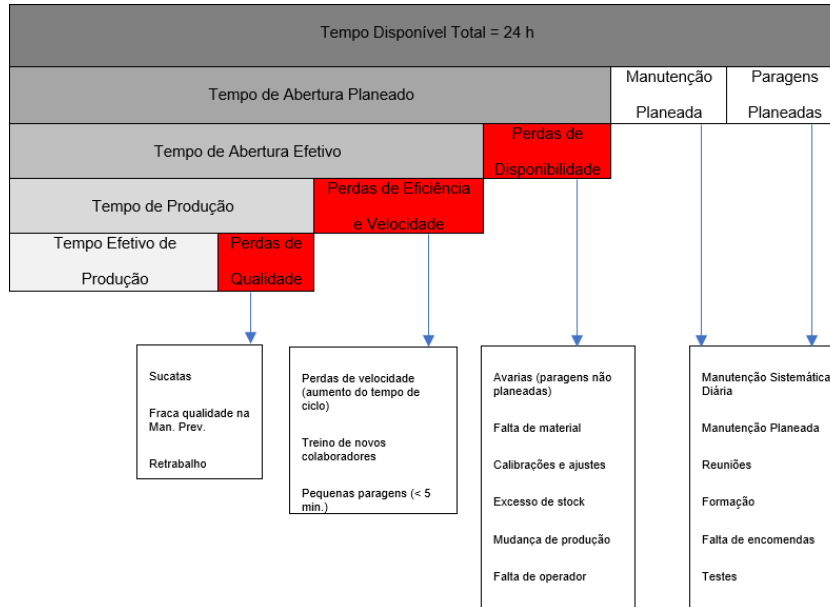


Figura 76. Causas que poderão influenciar o OEE, (adaptado de Raminhos 2010)

- O OEE pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$OEE = FD.FV.FQ.100 [\%] \quad (4.4)$$

Onde

FD define o fator de disponibilidade

FV o fator de velocidade

FQ o fator de qualidade, calculados de acordo com

$$FD = \frac{\text{Tempo de abertura efectivo}}{\text{Tempo de abertura planeado}} = \frac{(\text{Tempo de abertura planeado}) - (\text{Perda de disponibilidade})}{(\text{Tempo disponível total}) - (\text{Manutenção e paragens planeadas})} \quad (4.5)$$

$$FV = \frac{N^{\circ} \text{de peças produzidas} \times \text{Tempo planeado de ciclo}}{\text{Tempo de abertura efectivo}} \quad (4.6)$$

$$FQ = \frac{N^{\circ} \text{de peças produzidas} - N^{\circ} \text{de peças não conformes}}{N^{\circ} \text{de peças produzidas}} \quad (4.7)$$

Disponibilidade

- Disponibilidade define a aptidão de um bem para estar em estado para executar uma função requerida sob determinadas condições, assumindo que é assegurado o fornecimento dos meios externos necessários, (EN 13306:2007), podendo ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR+MWT} \times 100 [\%] \quad (4.8)$$

5.2. Atividades desenvolvidas no domínio da Manutenção

Nesta seção descrevem-se os principais trabalhos desenvolvidos no domínio da manutenção, em particular na definição e cálculo de indicadores de manutenção a implementar na empresa. Numa fase inicial, desenhou-se o *layout* da empresa (ANEXO 3) e atualizou-se a codificação dos equipamentos, a fim de promover uma familiarização com a empresa e contextualizar os objetivos em estudo. Posteriormente, tomou-se conhecimento do plano de Manutenção atual e dos procedimentos em curso.

Contextualização dos procedimentos da manutenção na empresa

A empresa recorre, atualmente, a uma folha de cálculo, definida no programa Excel, onde regista os pedidos de assistência, relativamente à manutenção. Pese embora o funcionamento e o rigor da folha de cálculo, a mesma não se encontra estruturada de forma a possibilitar o lançamento de OT's e o cálculo de indicadores de manutenção. Quando se verifica uma anomalia, procede-se ao seu registo na folha de cálculo, sendo gerado automaticamente o número de pedido de assistência. Associado a este pedido estão diversos parâmetros, de onde se podem destacar:

- Data do pedido de assistência;
- Sector;
- Seção;
- Equipamento;
- Identificado por;
- Responsável;
- Executante;

- Descrição do pedido;
- Estado da intervenção;
- Entre outras.

O registo de Pedido de Intervenção pode surgir durante o período laboral ou durante a manutenção sistemática que é efetuada. Importa referir que, atualmente, a folha de cálculo existente apenas permite “controlar” a manutenção corretiva (ou algum tipo de intervenção de melhoria), ou seja, os pedidos de assistência são efetuados e, quando finalizada a intervenção, assume-se o estado do pedido de assistência como concluído. Semanalmente, é feita uma revisão dos pedidos de assistência.

5.3. Melhorias a implementar

No sentido de melhorar a forma como a manutenção é controlada, este programa tem vindo a ser trabalhado de modo a possibilitar o lançamento de OT's, registo da informação proveniente da manutenção e respetivo cálculo de indicadores. Este, será a curto prazo integrado no programa de gestão Primavera, possibilitando assim o cálculo de custos associados à manutenção. Na folha de cálculo em Excel, que tem vindo a ser desenvolvida, foi identificado e definido como objetivo, introduzir uma base de dados, com os dados que se elencam seguidamente:

- Estado do equipamento (Operativo; inoperativo);
- Setor;
- Secção;
- Equipamento (a definir);
- Material/preço (Matriz Material; Preço de cada equipamento);
- Pedido por (a definir);
- Tipo de manutenção (Primária; preventiva; corretiva; melhoria; de investimento);
- Envio de *emails* (Lista de endereços a definir);
- Responsável (a definir).

Existirá uma primeira folha de cálculo Excel, a *Folha de Assistência* (Figura 77), onde é efetuado o pedido de assistência, por quem deteta essa necessidade ou por um responsável a definir e onde será registada a informação que se apresenta.

| DATA/HORA PEDIDO | DATA/HORA OCORRÊNCIA | PEDIDO POR | SETOR | SECÇÃO | EQUIPAMENTO | DESCRIÇÃO ANOMALIA |
|--|-------------------------|---------------|---------|---|--|---|
| Gerado automaticamente, aquando efetuado o Pedido de Assistência | dd/mm/yyyy hh/mm | Folha 1 | Folha 1 | Folha 1 Nota 1: só aparecem as secções correspondentes ao setor escolhido | Folha 1 Nota 1: só aparecem os equipamentos correspondentes à secção escolhida | Preenchido por quem deteta a anomalia ou por responsável a designar |

Figura 77. Folha de Assistência

Os campos “*Pedido por*”, “*Setor*”, “*Secção*” e “*Equipamento*”, são determinados em função da *Folha 1*.

A informação contida na *Folha de Assistência* segue, automaticamente, para uma segunda folha, a *Folha de Planeamento e Seguimento*, que será preenchida pelo planeamento da manutenção, em função da informação registada na *Folha de Assistência*. Será nesta folha que estarão contidos todos os parâmetros necessários para o cálculo de indicadores (descritos pormenorizadamente à frente).

Nesta fase do trabalho, em articulação com a empresa, foi identificado um equipamento piloto para início de criação de Planos de Manutenção. Escolheu-se a Máquina de Jato de Água por se considerar o equipamento mais importante da empresa, dado ser o único que desempenha as funções requeridas, não existindo substituto para o mesmo. Sendo o fabricante italiano, procedeu-se à tradução do Manual do Fabricante, concretamente, o capítulo que versa a manutenção do equipamento. A partir da informação traduzida do manual, bem como da experiência adquirida pela empresa ao longo do tempo pelo manuseamento do equipamento, definiram-se as tarefas de manutenção que deveriam ser colocadas em prática, para as diferentes periodicidades.

Posteriormente, definiram-se os indicadores de manutenção que deveriam ser calculados e os seus respetivos parâmetros, que advêm do exercício da manutenção e que intervêm no seu cálculo.

Foi entendimento que seria relevante definir os diferentes tipos de manutenção que poderão vir a ser implementados e tratados num futuro próximo na empresa. Desta forma, estruturaram-se os diferentes tipos de manutenção como se ilustra na Figura 78.

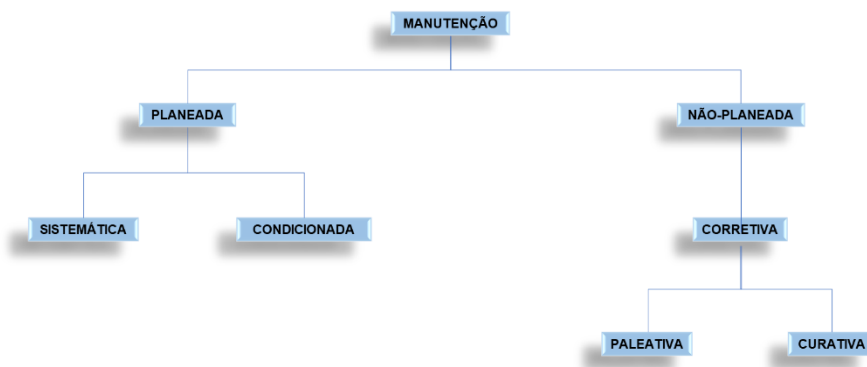


Figura 78. Tipos de manutenção que poderão vir a ser implementados

Como se constata pela Figura 78, acrescentou-se a manutenção planeada corretiva, de investimento e de melhoria, à estruturação geral da manutenção, apresentada na introdução teórica à manutenção.

A manutenção planeada corretiva resulta de inspeções regulares que identificam a falha atempadamente, a fim dessa mesma manutenção ser planeada e programada. Tem um carácter menos “urgente” que a manutenção não-planeada corretiva, que ocorre, como o nome indica, “fora dos planos”.

Acrescenta-se também a manutenção de melhoria, que inclui as ações de modificação ou alteração que se executam num equipamento, com o objetivo de melhorar o seu desempenho, a sua segurança de funcionamento, a sua adequabilidade a situações específicas e a sua atualização por incorporação de novas características, sem modificar a função requerida (Soares, 2015). Estas ações são planeadas e requerem um estudo prévio adequado para que o resultado seja efetivo.

Por último, a manutenção de investimento que, de acordo com Kelly (1997), e como referido em Mungani e Visser (2013), é um tipo de Manutenção baseada no negócio (BCM). A metodologia desenvolvida por Kelly na década de 1980 é orientada pela identificação de objetivos de negócio, que são traduzidos em objetivos de manutenção e que sustentam a formulação da estratégia de manutenção. A gestão da manutenção é analisada sob a perspetiva de toda a empresa, indo ao encontro não só da vertente tecnológica, mas também da vertente económica e de negócio.

Notar que, no tratamento da manutenção sistemática, procede-se a uma “divisão” no âmbito deste tipo de manutenção. Assim, designa-se por manutenção primária (também designada

de manutenção de 1º Nível), a manutenção sistemática com a periodicidade diária, enquanto que a manutenção com as restantes periodicidades se designa por manutenção sistemática periódica.

Do ponto de vista do autor, também é importante a definição clara de um responsável por cada secção, de forma ao operador lhe comunicar uma eventual ocorrência resultante do período laboral ou da própria manutenção sistemática diária e semanal, ficando este encarregue de proceder ao registo da ocorrência na folha definida no programa Excel, que será implementada futuramente.

Relativamente aos indicadores de manutenção, concretamente o MTBF, importa destacar o descrito na norma NP EN 13306 (2007). A norma apresenta uma especificação para este indicador, ou seja, além do “Tempo Médio Entre Falhas”, tem-se o “Tempo Médio de Operação Entre Falhas”. Desta forma, calcula-se de forma concreta, o tempo médio de operação do equipamento, entre duas falhas consecutivas no período em análise e não apenas o tempo em que o equipamento se encontrou disponível para produzir. O autor, na definição dos parâmetros necessários para o cálculo de indicadores, trata o cálculo do MTBF no sentido de proporcionar que seja calculado como se indica, permitindo, dessa forma, uma análise mais correta.

O desenvolvimento do trabalho assentou nas seguintes ferramentas de manutenção:

- PM;
- OT's;
- Matriz GUT;
- Indicadores de Manutenção (MTBF; MTTR; MWT; OEE; Disponibilidade).

5.3.1. Manutenção Sistemática Diária (Manutenção de 1º Nível)

A manutenção com a seguinte periodicidade não é ainda colocada em prática na empresa e, sendo assim, procedeu-se ao seu desenvolvimento. Decidiu-se que a manutenção sistemática primária iria englobar as tarefas diárias e semanais, uma vez que a natureza das tarefas é similar. Por esta razão, o procedimento da manutenção diária e semanal, terá o mesmo encadeamento. Apresenta-se, seguidamente, o seu procedimento (Raminhos, 2010):

1. Objetivo - Efetuar e registrar a Manutenção Primária (Diária e Semanal);
2. Aplicação - A todos os equipamentos da empresa. Referência para a Máquina de Jato de Água (equipamento “piloto” do presente projeto);
3. Definições - Manutenção de 1º Nível, que tem como base uma manutenção diária efetuada pelos operadores da máquina focada em pontos funcionais e de segurança;
4. Responsabilidades - Dos operadores dos equipamentos. Efetuar e preencher a folha de Manutenção Primária. Guardar em bom estado de conservação as folhas de Manutenção Primária;
5. Procedimento - Colocar a folha de Manutenção Primária nos postos de trabalho dos equipamentos; preencher a folha de manutenção primária, pelos operadores dos respectivos equipamentos ou por outros que os substituam em caso de ausência dos primeiros; o operador rubrica em cada dia do mês, no espaço correspondente a cada tarefa. A rubrica significa que o operador executou a tarefa em questão; no final de cada mês, a folha de Manutenção Primária é substituída por uma nova folha, para início de registo no novo mês;
6. Fluxograma -

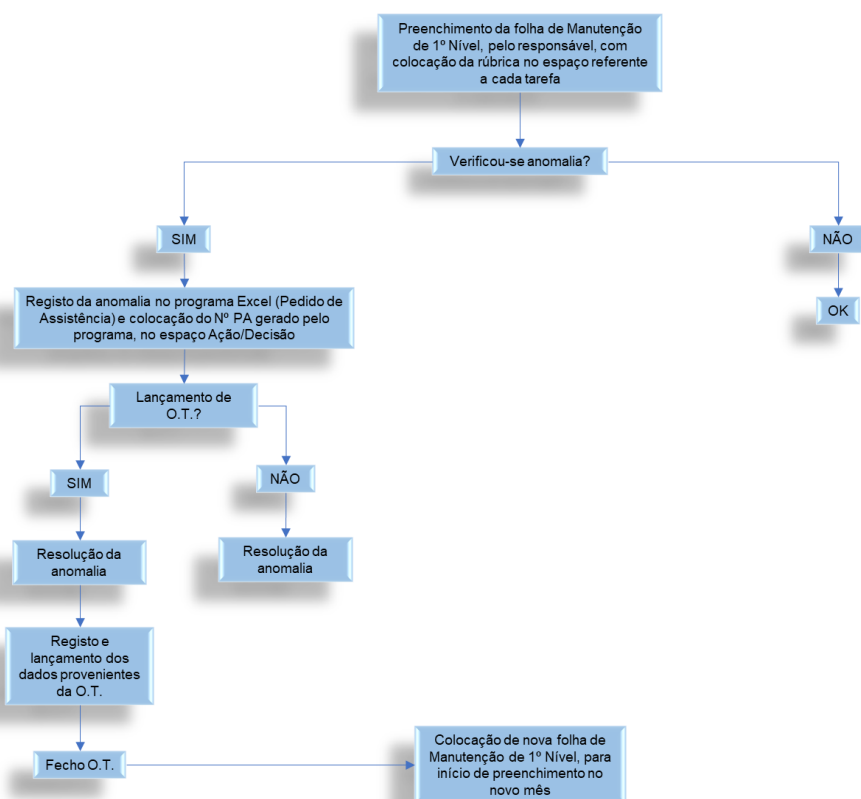


Figura 79. Fluxograma da manutenção de 1º nível

O plano de manutenção de 1º Nível compila as tarefas a executar e os espaços correspondentes a cada tarefa, onde o operador regista a sua rúbrica, como confirmação da realização da tarefa. A Figura 80 ilustra o modelo proposto. Esta folha acaba por ser uma compilação do plano de manutenção e da ordem de trabalho diária. Caso resulte, a verificação de uma anomalia/ocorrência será registada na *Folha de Assistência*.

| PLANO DE MANUTENÇÃO DE 1º NÍVEL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|--------------------------------|---|---|---|------------------|---|---|---|---|------------|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| EQUIPAMENTO | | CÓDIGO | | | | FABRICANTE | | | | | MODELO | | | | | Ano | | | | | Mês | | | | | | | | | | | |
| Máquina de Jato de Água | | JA1 | | | | Flow Europe GmbH | | | | | T11 - 2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TAREFAS DE MANUTENÇÃO | | COLOCAR RÚBRICA EM CADA CÉLULA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| DIÁRIA | Limpeza geral da zona de trabalho | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Verificar eventual saída de água no tubo de escape. Se tal acontecer, proceder à reparação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SEMANAL | Limpeza do módulo da bomba | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Limpeza do módulo da grenalha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 80. Modelo proposto para plano de manutenção de 1º Nível

5.3.2. Manutenção Sistemática Periódica

A manutenção sistemática periódica é efetuada na empresa, geralmente no último sábado de cada mês e abrange as periodicidades: mensal; trimestral; semestral; e anual. É colocada em prática por pessoal mais qualificado, uma vez abranger tarefas de natureza mais complexa e específica, comparativamente à manutenção sistemática diária e semanal.

No final de cada mês é impressa a OT a colocar em prática no mês seguinte. Nesta OT estão descritas as tarefas a realizar e, sendo assim, a folha compila o plano de manutenção e a OT. A folha contém as tarefas a executar relativamente a todas as periodicidades abrangidas por esse mês, estando assinaladas com “X”. Existe uma folha que trata a execução da intervenção e outra que trata dos tempos de intervenção (Figuras 81 e 82, respetivamente).

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|-------------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | janeiro 17 | | | | |
| 3 | <i>Equipamento / Tarefa</i> | <i>Frequência</i> | <i>Execução</i> | <i>Rubrica</i> | <i>Data</i> | <i>Observações</i> | <i>Ação / Decisão</i> |
| 4 | Forno 1 (FR1) | | | | | | |
| 5 | Lubrificar corrente (MASSA PRETA) | TRIMESTRAL | X | | | | |
| 6 | Verificar rolamentos dos rolos e ventiladores e substituir, se necessário | TRIMESTRAL | X | | | | |
| 7 | Limpar filtros dos ventiladores | MENSAL | X | | | | |
| 8 | Verificar nível de óleo dos redutores e acrescentar, se necessário (BP GRXP320 ou equiv.) | ANUAL | | | | | |
| 9 | Verificar nível de óleo dos variadores e acrescentar, se necessário (BP AUTRAN DX) | ANUAL | | | | | |
| 10 | Lubrificar rolamentos dos veios dos ventiladores (MASSA PRETA) | TRIMESTRAL | X | | | | |
| 11 | Verificar e manter quadro elétrico fechado | TRIMESTRAL | X | | | | |
| 12 | Linha de Entrada do Forno 1 (LF1) | | | | | | |
| 13 | Lubrificar rolamentos dos veios (MASSA PRETA) | SEMESTRAL | X | | | | |
| 14 | Verificar nível de óleo dos redutores e acrescentar, se necessário (BP GRXP320 ou equiv.) | ANUAL | | | | | |

Figura 81. Plano de manutenção/O.T. periódica (actual), para controlo da execução das tarefas

| | A | B | C | D | E | F |
|----|--|-------------------|-----------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | janeiro 18 | | | |
| 3 | <i>Equipamento / Tarefa</i> | <i>Frequência</i> | <i>Execução</i> | <i>T. Prev (min)</i> | <i>T. Corr (min)</i> | <i>Observações</i> |
| 4 | Forno 1 (FR1) | | | | | |
| 5 | Lubrificar corrente (MASSA PRETA) | TRIMESTRAL | X | | | |
| 6 | Verificar rolamentos dos rolos e ventiladores e substituir, se necessário | TRIMESTRAL | X | | | |
| 7 | Limpar filtros dos ventiladores | MENSAL | X | | | |
| 8 | Verificar nível de óleo dos redutores e acrescentar, se necessário (BP GRXP320 ou equiv.) | ANUAL | | | | |
| 9 | Verificar nível de óleo dos variadores e acrescentar, se necessário (BP AUTRAN DX) | ANUAL | | | | |
| 10 | Lubrificar rolamentos dos veios dos ventiladores (MASSA PRETA) | TRIMESTRAL | X | | | |
| 11 | Verificar e manter quadro elétrico fechado | TRIMESTRAL | X | | | |
| 12 | Linha de Entrada do Forno 1 (LF1) | | | | | |
| 13 | Lubrificar rolamentos dos veios (MASSA PRETA) | SEMESTRAL | X | | | |
| 14 | Verificar nível de óleo dos redutores e acrescentar, se necessário (BP GRXP320 ou equiv.) | ANUAL | | | | |

Figura 82. Plano de manutenção/O.T. periódica (actual), para controlo dos tempos das tarefas

Decidiu-se compilar as duas folhas relativas à manutenção periódica, apresentando-se um modelo, proposto na Figura 85, para um determinado mês (no caso, janeiro). O procedimento para a manutenção com a periodicidade mensal, trimestral, semestral e anual, é igual. Posteriormente, quando o programa Excel estiver finalizado, este será capaz de lançar o plano de Manutenção/OT, sempre que o responsável pela manutenção em causa assim o solicitar, tal como previamente descrito. Seguidamente é descrito o procedimento da manutenção preventiva sistemática (Raminhos, 2010):

1. Objetivo - Efetuar e registar as intervenções de Manutenção Sistemática;
2. Aplicação - A todos os equipamentos da ID. Referência para a Máquina de Jato de Água (equipamento “piloto” do presente projeto);
3. Definições - Manutenção Sistemática, tem como base uma manutenção planeada, efetuada por operadores com alguma qualificação e focada em pontos funcionais e de segurança;
4. Responsabilidades - A designar pela empresa; verificação semanal dos trabalhos a efetuar e qual o tipo de manutenção a executar; fiscalização dos trabalhos efetuados no terreno, quer em termos operacionais quer em termos de tempo gasto; verificação da existência de peças-de-reserva para a execução das OT (Figura 85); programar e planear todas as atividades em concordância com a disponibilidade da produção;



Figura 83. Verificação da existência de peças de reserva

5. Procedimento - Emissão de OT para tarefas a executar; recolha de OT para introdução de dados no sistema; análise de desvios e cálculo de rácios; fecho de OT.;
6. Fluxograma -

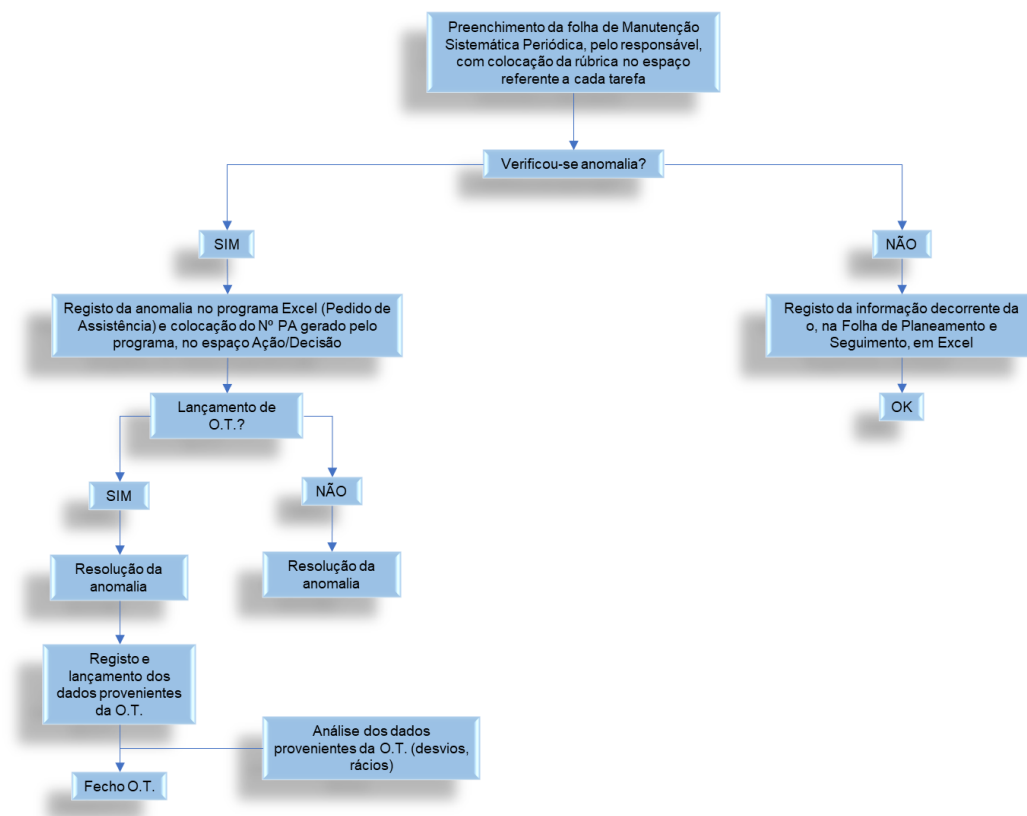


Figura 84. Fluxograma da manutenção sistemática periódica

| MANUTENÇÃO SISTEMÁTICA PERIÓDICA/O.T. – MÁQUINA DE JATO DE ÁGUA | | | | | | | | | | | |
|---|----------|---------------------|------------------|------------|------------------|-------------|----------|--------------|-----------|--------|--|
| EQUIPAMENTO | CÓDIGO | | FABRICANTE | | MODELO | | ANO | | | | |
| Máquina de Jato de Água | JA1 | | Flow Europe GmbH | | T11 - 2000 | | | | | | |
| MENSAL | | JANEIRO | | | | | | | | | |
| TAREFAS A EXECUTAR | Execução | Rúbrica Responsável | Tempo Previsto | Tempo Real | Rácio Prev./Real | Hora Início | Hora Fim | Ação/Decisão | Materiais | | |
| | | | | | | | | | Código | Quant. | |
| Limpeza do depósito de água (tirar toda a lama) | X | | | | | | | | | | |
| Verificação do estado da bomba (ver pressão e funcionamento dos intensificadores). Se necessários, proceder à reparação dos mesmos | X | | | | | | | | | | |
| Verificar e manter quadro elétrico limpo e fechado | X | | | | | | | | | | |
| Verificar o funcionamento do ar condicionado | X | | | | | | | | | | |
| Verificar o nível de óleo do depósito da bomba (se necessário, acrescentar) | X | | | | | | | | | | |
| Verificar nº de horas de trabalho. Às 22.300 horas, substituição do óleo da bomba (BP ENERGOL HLP HM46 ou equivalente) e filtro de óleo | X | | | | | | | | | | |
| Verificação e limpeza do estado dos “foles” | X | | | | | | | | | | |
| Verificar estado dos filtros de água e substituir se necessário (0,45 micro e 1 micro e 10 micro | X | | | | | | | | | | |
| Verificar eventuais fugas de água de alta pressão. Se necessário, proceder à reparação | X | | | | | | | | | | |
| Lubrificar guias lineares (SKF15296) até o óleo sair no ponto de lubrificação | X | | | | | | | | | | |
| Limpar o radiador de arrefecimento do óleo | X | | | | | | | | | | |
| TRIMESTRAL | | JANEIRO | | | | | | | | | |
| TAREFAS A EXECUTAR | Execução | Rúbrica Responsável | Tempo Previsto | Tempo Real | Rácio Prev./Real | Hora Início | Hora Fim | Ação/Decisão | Materiais | | |
| | | | | | | | | | Código | Quant. | |
| NÃO ESTÃO PREVISTAS TAREFAS A EXECUTAR | | | | | | | | | | | |
| SEMESTRAL | | JANEIRO | | | | | | | | | |
| TAREFAS A EXECUTAR | Execução | Rúbrica Responsável | Tempo Previsto | Tempo Real | Rácio Prev./Real | Hora Início | Hora Fim | Ação/Decisão | Materiais | | |
| | | | | | | | | | Código | Quant. | |
| NÃO ESTÃO PREVISTAS TAREFAS A EXECUTAR | | | | | | | | | | | |
| ANUAL | | JANEIRO | | | | | | | | | |
| TAREFAS A EXECUTAR | Execução | Rúbrica Responsável | Tempo Previsto | Tempo Real | Rácio Prev./Real | Hora Início | Hora Fim | Ação/Decisão | Materiais | | |
| | | | | | | | | | Código | Quant. | |
| NÃO ESTÃO PREVISTAS TAREFAS A EXECUTAR | | | | | | | | | | | |

Figura 85. Modelo de plano de manutenção/O.T. proposto, para manutenção sistemática periódica

5.3.3. Manutenção não Planeada

A manutenção não planeada pode ter origem em diferentes fases daquilo que é o dia-a-dia de uma empresa. Com este trabalho pretende-se melhorar a forma como a manutenção não planeada é tratada, essencialmente aquela que advém do ato diário do processo laboral e da manutenção sistemática periódica, quando não é passível de ser tratada “na hora”.

O objetivo principal passava por introduzir o cálculo de indicadores de manutenção. Para tal, é imprescindível a existência de OT's que permitam a introdução de parâmetros relativos à manutenção, para posterior análise. Atualmente, não são lançadas OT's, nem são calculados indicadores de manutenção. Pretendia-se manter na empresa o mesmo tipo de folha de cálculo Excel, com as devidas alterações necessárias, para o lançamento de OT's e cálculo de indicadores de manutenção.

Como referido anteriormente, a folha de cálculo Excel será carregada com uma base de dados. Na *Folha de Assistência* é efetuado o pedido, por um responsável a designar. A informação registada nessa folha segue para a *Folha de Planeamento e Seguimento*, onde constam os novos parâmetros introduzidos no presente trabalho e que vão ao encontro do objetivo pretendido, o cálculo de indicadores de manutenção. Os referidos parâmetros são apresentados na Figura 86. Nesta figura, concretamente no campo “Consequência da Anomalia”, é efetuada a distinção entre uma ocorrência que implica paragens de produção, quebra de produção e continuação de produção. Caso ocorra paragem de produção, então essa ocorrência vai ser contabilizada no cálculo de indicadores, daí a colocação, nesse mesmo campo, de “Hora Início Paragem Produção” e “Hora Início Produção Após Fim Avaria” (usado no cálculo do MTBF). No caso da ocorrência proporcionar quebra de produção, então essa consequência será registada na folha para o cálculo do indicador OEE. Por fim, caso a produção não cesse, é efetuado o registo da ocorrência para posterior intervenção.

| Nº PEDIDO DE ASSISTÊNCIA | DATA/HORA PEDIDO ASSISTÊNCIA | DATA/HORA OCORRENCIA | PEDIDO POR | SETOR | SECCÇÃO | EQUIPAMENTO | DESCRIÇÃO ANOMALIA |
|---------------------------|---|------------------------------|---------------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------|
| Automático | Automático | dd/mm/yyyy hh/mm | Pré-preenchido | Pré-preenchido | Pré-preenchido | Pré-preenchido | Pré-preenchido |
| TIPO DE MANUTENÇÃO | DESCRIÇÃO DA AÇÃO DE MANUTENÇÃO A PRATICAR | URGÊNCIA | RESPONSÁVEL | EXECUTANTE | ESTADO DA INTERVENÇÃO | DATA PREVISTA INÍCIO INTERVENÇÃO | TEMPO PREVISTO INTERVENÇÃO |
| Primária (Diária/Semanal) | | 5-Precisa de ação imediata | | | Recusado | | |
| Preventiva | | 4-Urgente | | | Por definir | | |
| Corretiva | | 3-O mais rápido possível | | | Aguarda material | | |
| De melhoria | | 2-Pouco urgente | | | Aguarda disponibilidade de equipamento | | |
| De investimento | | 1-Pode esperar | | | Preparada | | |
| | | Se 5,4 ou 3, lançada O.T. | | | Em execução | | |
| | | | | | Concluída | | |
| TEMPO GASTO | CONSEQUÊNCIA DA ANOMALIA | DATA/HORA INÍCIO INTERVENÇÃO | DATA HORA FIM INTERVENÇÃO | TEMPO INTERVENÇÃO | TEMPO DE ESPERA INÍCIO INTERVENÇÃO (WT) | CAUSA PRINCIPAL DO PROBLEMA | MELHORIAS PREVISTAS |
| | <ul style="list-style-type: none"> Avaria/Paragem produção HORA INÍCIO PARAGEM PRODUÇÃO: HORA INÍCIO PRODUÇÃO APÓS FIM AVARIA: <ul style="list-style-type: none"> Quebra de produção (caso ocorra quebra, tal será analisado no indicador OEE) PRODUÇÃO CONTINUOU | | | Automático (calculado a partir dos 2 parâmetros anteriores) | Automático (calculado a partir do registo da DATA/HORA PEDIDO ASSISTÊNCIA e DATA/HORA INÍCIO INTERVENÇÃO) | | |
| MATERIAL | CUSTO MATERIAL (€) | CUSTO PESSOAL (€) | CUSTO OUTSOURCING (€) | CUSTO TOTAL (€) | OBSERVAÇÕES | | |
| | | | | | | | |

Figura 86. Parâmetros necessários ao cálculo de indicadores de manutenção

Para a definição do lançamento de ordens de trabalho, usou-se a Matriz GUT, que é apresentada na Tabela 5. Esta ferramenta da manutenção classifica a Gravidade, Urgência e Tendência da ocorrência com o passar do tempo (caso não se atue sobre a anomalia). A escala de gravidade vai de 1 até 5, tendo a nota 1 a designação, “sem gravidade” e a nota 5 a designação, “extremamente grave”. Posto isto, decidiu-se que o lançamento das OT’s se fariam a partir da nota 3 (grave), inclusive. Para as ocorrências com nota 1 e 2, ainda que registadas na *Folha de Assistência*, não será lançada OT.

Tabela 5. Matriz GUT

| NOTA | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA (“se nada for feito”) |
|------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 5 | EXTREMAMENTE GRAVE | PRECISA DE AÇÃO IMEDIATA | IRÁ PIORAR RAPIDAMENTE |
| 4 | MUITO GRAVE | É URGENTE | IRÁ PIORAR EM POUCO TEMPO |
| 3 | GRAVE | O MAIS RÁPIDO POSSÍVEL | IRÁ PIORAR |
| 2 | POUCO GRAVE | POUCO URGENTE | IRÁ PIORAR A LONGO PRAZO |
| 1 | SEM GRAVIDADE | PODE ESPERAR | NÃO IRÁ MUDAR |

Na Figura 89, apresenta-se um modelo proposto de Ordem de Trabalho de manutenção não planeada. Os procedimentos para esta manutenção são descritos seguidamente (Raminhos, 2010):

1. Objetivo - Efetuar e registar a Manutenção Não-Planeada;
2. Aplicação - A todos os equipamentos da ID. Referência para a Máquina de Jato de Água (equipamento “piloto” do presente projeto);
3. Definições - Manutenção não planeada que resulta de uma avaria ou uma melhoria num equipamento, sendo, normalmente, efetuada pelos técnicos da manutenção, tendo em linha de conta o cumprimento de todos os procedimentos e instruções de trabalho de segurança;
4. Responsabilidades - A definir pela empresa; efetuar a intervenção e preencher as OT em todos os campos em aberto para o efeito; guardar em bom estado de conservação as OT de manutenção não planeada; verificação do preenchimento das OT dos trabalhos efetuados; cálculo dos custos; fiscalização dos trabalhos efetuados no terreno, quer em termos operacionais quer em termos de tempo gasto; verificação da existência de peças-de-reserva para a execução das OT's (Figura 16); lançar informaticamente os tempos, os custos, calcular rácios e arquivar as OT's.

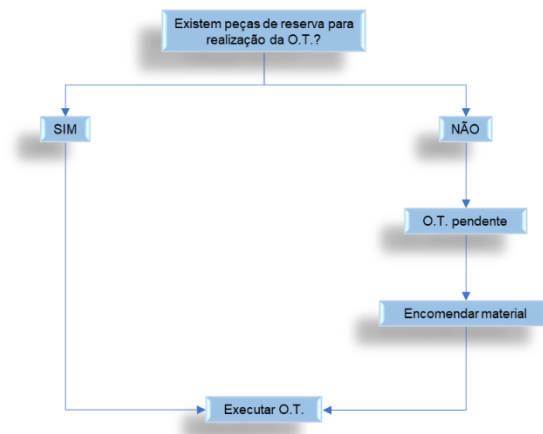


Figura 87. Verificação de peças de reserva para execução de O.T. da Man. não planeada

5. Procedimento - Emissão de OT para tarefas a executar; recolha de OT para introdução de dados no sistema; análise de desvios e cálculo de rácios; fecho de OT.

6. Fluxograma -

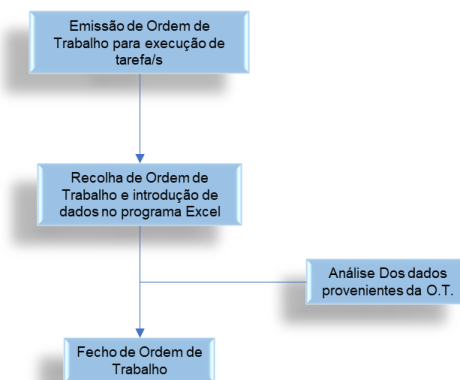


Figura 88. Fluxograma da manutenção não planeada

| ORDEN DE TRABALHO – MANUTENÇÃO NÃO PLANEADA | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------|------------|
| EQUIPAMENTO | | CÓDIGO | | FABRICANTE | | MODELO | | ANO | | MÊS | |
| Máquina de Jato de Água | | JA1 | | Flow Europe GmbH | | T11 - 2000 | | 2018 | | Janeiro | |
| Nº PA | DATA/HORA PA | PEDIDO POR | Nº OT | DATA/HORA LANÇAMENTO OT | DATA/HORA FECHO OT | TEMPO PREVISTO INTERVENÇÃO | DATA/HORA INÍCIO INT. | DATA/HORA FIM INT. | TIPO DE MANUTENÇÃO | RESPONSÁVEL | EXECUTANTE |
| 1 | Joaquim | 02-01-2018 9.30 | 01-01-2018 | 02-01-2018 | Joaquim | Joaquim | | | | | |
| DESCRIÇÃO DA AÇÃO DE MANUTENÇÃO A PRATICAR | | Verificar "espaçamento" sensor. Verificar posição dos "rolos". | | | | | | | | | |
| MATERIAIS | CÓDIGO | QUANTIDADE | MATERIAIS | CÓDIGO | QUANTIDADE | MATERIAIS | CÓDIGO | QUANTIDADE | MATERIAIS | CÓDIGO | QUANTIDADE |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| DESCRIÇÃO DA INTERVENÇÃO | 1 rolo fora de posição devido à falta de rosca. Colocou-se uma rosca. | | | | | | | | | | |
| | Reprogramou-se o sensor. Estava programado para uma velocidade demasiado elevada. | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| CAUSA PRINCIPAL PROBLEMA | Falta de rosca. Sensor programado para velocidade demasiado alta. | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| MELHORIAS PREVISTAS | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| OBSERVAÇÕES | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Figura 89. Modelo de ordem de trabalho proposto, para a manutenção não planeada

5.3.4. Indicadores de Manutenção

Elaborada a Ordem de Trabalho, bem como a definição dos parâmetros a colocar na *Folha de Planeamento e Seguimento*, é então possível controlar e analisar a manutenção a partir dos indicadores de manutenção. Seguidamente, exemplifica-se de que forma são calculados os indicadores.

MTBF (Tempo Médio de Bom Funcionamento)

Com o registo dos Pedidos de Assistência e consequente registo da Hora de Início de Avaria e Hora de Início de Produção Após Fim de Avaria, é possível determinar o tempo em que o equipamento operou eficazmente durante o turno. A Figura 92 resume os parâmetros envolvidos entre duas falhas consecutivas.

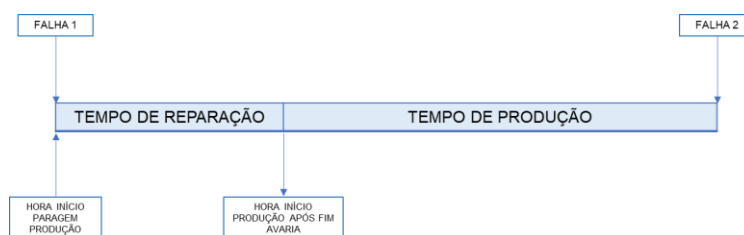


Figura 90. Parâmetros envolvidos no cálculo do MTBF

Por exemplo, um equipamento deve funcionar corretamente durante um turno de 9 horas. Nesse mesmo período verificaram-se 4 falhas que exigiram um determinado tempo de reparação. O tempo total de paragem para reparação do equipamento avariado é de 1 hora. Assim, o $MTBF = \frac{9-1}{4} = 2$ (horas), ou seja, o tempo médio de “bom” funcionamento entre avarias no decorrer do turno é igual a 2 horas.

MTTR (Tempo Médio de Reparação de Avarias)

Com o registo do número de avarias e consequente registo da Hora de Início de Intervenção e Hora de Fim de Intervenção, é possível determinar os tempos decorrentes de cada intervenção.

Por exemplo, considerando um turno de 8 horas, no qual o equipamento registou 3 falhas/avarias, sendo o somatório das respectivas 3 intervenções igual a 1 hora. Assim, o $MTTR = \frac{1}{3} = 0,33$ (horas), ou seja, o tempo médio de reparação é igual a 33 minutos.

MWT (Tempo Médio de Espera)

Com o registo do número de avarias e consequente registo da Hora Pedido e Hora de Início da Reparação, é possível determinar os tempos de espera de cada intervenção, durante o turno em análise.

Por exemplo, considerando um turno de 8 horas, no qual o equipamento registou 3 falhas/avarias, tendo sido registado tempos de espera de 25 minutos, 20 minutos e 15 minutos, respetivamente. Posto isto, o tempo total de espera é igual a 1 hora. Assim, o $MWT = \frac{1}{3} = 0,33$ (horas), ou seja, o tempo médio de espera é igual a 33 minutos.

OEE (Eficiência Global do Equipamento)

Existe uma folha específica para registar os parâmetros relativos ao OEE. Neste caso, se ocorrer uma intervenção de manutenção não-planeada (corretiva), o operador tem que ser capaz de estar atento a tudo o que se processa, a fim de anotar o tempo em que o equipamento esteve sem operar, para que, no final do turno, o cálculo do OEE seja feito com eficiência. Obviamente, todos os outros tipos de paragens, etc., têm que ser por este anotadas. Só assim é possível calcular o OEE eficientemente. As Tabelas 6, 7 e 8, referentes ao fator disponibilidade, eficiência e qualidade, respetivamente, serão usadas para preenchimentos dos parâmetros que intervêm no cálculo do OEE.

Tabela 6. Cálculo do fator Disponibilidade (adaptado de Raminhos 2010)

| PERDAS DE DISPONIBILIDADE (PARAGENS PLANEADAS) | | |
|--|--------------------|-----------|
| CAUSA | TEMPO (minutos) | DESCRIÇÃO |
| FORMAÇÃO | | |
| MANUTENÇÕES PLANEADAS | | |
| REUNIÕES | | |
| LIMPEZA | | |
| FALTA DE ENCOMENDAS | | |
| OUTRO | | |
| TOTAL DE PERDAS A= | | |

| PERDAS DE DISPONIBILIDADE (PARAGENS NÃO-PLANEADAS) | | |
|--|--------------------|-----------|
| CAUSA | TEMPO (minutos) | DESCRIÇÃO |
| FALTA DE OPERADORES (NÃO-AVISOU) | | |
| AVARIA NA MÁQUINA | | |
| AVARIA NA FERRAMENTA | | |
| TROCA DE FERRAMENTA (SETUP) | | |
| TROCA DE TAPETE DO ALIMENTADOR | | |
| ESPERA EMPILHADOR | | |
| CONTROLO VOLANTE DA QUALIDADE | | |
| OUTRO | | |
| TOTAL DE PERDAS B= | | |

| |
|--|
| DISPONIBILIDADE = $\frac{\text{Tempo de abertura efectivo}}{\text{Tempo de abertura planeado}}$ = $\frac{\text{Tempo disponível total} - A - B}{\text{Tempo disponível total} - B}$ = |
|--|

Tabela 7. Cálculo do fator eficiência (adaptado de Raminhos 2010)

| PERDAS DE VELOCIDADE (EFICIÊNCIA) | | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------|
| CAUSA | TEMPO (MINUTOS) | DESCRIÇÃO |
| OPERADOR COM BAIXA EFICIÊNCIA | | |
| PERDA DE VELOCIDADE | | |
| PEQUENAS PARAGENS (< 5 MIN.) | | |
| TOTAL DE PERDAS | | |

| |
|--|
| EFICIÊNCIA (por cada produto) = $\frac{N^{\circ} \text{ peças produzidas} \times \text{Tempo planeado de ciclo}}{\text{Tempo de abertura efetivo}} =$ |
|--|

| |
|--|
| EFICIÊNCIA (total) = $\frac{(\quad) \times (\quad) + (\quad) \times (\quad) + (\quad) \times (\quad)}{(\quad)} = \frac{(\quad) + (\quad) + (\quad)}{(\quad)} =$ |
|--|

Tabela 8. Cálculo do fator Qualidade (adaptado de Raminhos 2010)

| PERDAS DE QUALIDADE | | |
|---------------------|------------|-----------|
| CAUSA | QUANTIDADE | DESCRIÇÃO |
| PEÇAS SUCATADAS | | |
| PEÇAS PRODUZIDAS | | |
| TOTAL DE PERDAS | | |

| |
|--|
| QUALIDADE = $\frac{N^{\circ} \text{ peças produzidas} \times \text{Número de peças sucata}}{\text{Número de peças produzidas}} =$ |
|--|

De seguida descreve-se um exemplo de cálculo do OEE. Considerem-se os seguintes dados:

- Tempo Disponível Total - 540 minutos (turno de 9 horas);
- Manutenção Primária - 40 minutos;
- Avarias - 30 minutos;
- Número de peças produzidas - 930;
- Número de peças não conformes - 2;
- Tempo de Ciclo: 0.5 minutos (minutos/peça).

O cálculo do OEE é feito da seguinte forma:

- Tempo de Abertura Planeado: $540 - 40 = 500$ min;
- Tempo de Abertura Efetivo: $500 - 30 = 470$ min;
- Disponibilidade: $470 / 500 = 0,94 = 94\%$;
- Eficiência: $(930 \times 0,5) / 470 = 0,989 = 98,9\%$;
- Qualidade: $(930-2) / 930 = 0,997 = 99,7\%$;
- $OEE = (0,94 \times 0,989 \times 0,997) \times 100\% = 93\%$.

Pode ainda optar-se pelo cálculo direto do OEE:

$$OEE = \frac{(Peças\ boas) \times (Tempo\ de\ ciclo)}{Tempo\ de\ abertura\ planeado} = \frac{928 \times 0,5}{500} = 93\%$$

DISPONIBILIDADE

Na posse dos valores obtidos dos indicadores MTBF, MTTR e MWT, é então possível proceder ao cálculo da disponibilidade do equipamento.

Por exemplo, considera-se um turno de 9 horas, para um determinado equipamento. Durante o turno registaram-se 2 falhas. O tempo médio de espera (MWT) foi de 0,1 horas (10 minutos), o tempo médio de funcionamento (MTBF) foi de 4 horas e o tempo médio de reparação foi de 0,2 horas. Assim, a disponibilidade = $\frac{4}{4+0,2+0,1} \times 100\% = 93\%$.

Desta forma, é então possível efetuar o cálculo de indicadores de manutenção, como era objetivo do presente trabalho

6. Conclusões

A realização deste trabalho de estágio permitiu, em primeiro lugar, o contacto direto com o mundo industrial em contexto real, objetivo definido com o ingresso no mestrado em engenharia mecânica do ISEC. Além do conhecimento das metodologias de trabalho e organização associadas a uma importante empresa, a Ideias & detalhes, foi possível contactar diretamente com alguns domínios do conhecimento associados à engenharia mecânica, com destaque para a Manutenção Industrial e o processo PVD. Complementarmente, foi possível a associação a um projeto de inovação, em desenvolvimento na empresa, contribuindo com a modelação 3D e análise numérica estrutural de um determinado componente.

No que toca à Manutenção, o conhecimento adquirido nos trabalhos de pesquisa realizados com vista aos objetivos definidos e os resultados obtidos permitem afirmar que a visão simplista tida inicialmente sobre esta área ficou modificada e claramente cimentada. De acordo com o responsável da empresa, embora a manutenção efetuada na empresa atualmente seja simples e rudimentar, diminuiu bastante o número de ocorrências desde que é colocada em prática. Prevê-se, portanto, que com a aplicação futura de uma manutenção mais evoluída, adequada ao contexto em questão, daí resulte um benefício muito grande para a empresa. Teria sido interessante contactar com um software de manutenção adequado ao contexto em estudo ou mesmo com o programa em Excel que a curto prazo irá ser aplicado na empresa, dando início à prática da manutenção de uma forma mais consistente, nomeadamente através do cálculo de indicadores de manutenção. No entanto, a expectativa é de que os indicadores de manutenção definidos neste trabalho possam vir a ser úteis para a implementação das melhorias a implementar na empresa.

Relativamente à tecnologia PVD, esta era uma área totalmente desconhecida. Além do conhecimento adquirido e o elevado interesse gerado no estudo desta tecnologia, pelas inúmeras aplicações a si associadas, destaca-se a experiência obtida no decorrer dos trabalhos de reparação da câmara de PVD, com a paciência que é necessário “colocar em prática” para a resolução de determinados problemas. O envolvimento no processo de reparação da câmara de vácuo foi uma experiência enriquecedora e de aprendizagem no “terreno”.

No que toca à vertente de análise estrutural, recorrendo ao software SolidWorks, foi aproveitado o projeto que tem vindo a ser desenvolvido na empresa Ideias e Detalhes, em parceria com o ISEC, para cimentar conhecimento adquirido no decorrer da licenciatura e do primeiro ano de mestrado. O trabalho efetuado no âmbito do projeto LIT contribuiu para o agregar de competências a nível da análise estrutural, com base no método dos elementos finitos.

Tendo em conta todas as atividades que se participou, é pertinente afirmar que os objetivos associados à realização do estágio foram obtidos.

7. Referências Bibliográficas

- Cabrita, C. e Cardoso, A. (2013). *Conceitos e definições de falha e avaria nas normas portuguesas de manutenção NP EN 13306 (2007) e NP EN 15341:2009*. REVISTA MANUTENÇÃO. 125, 2º Trimestre de 2015, p5.
- Cassiano, J. *Análise de Fiabilidade de Grupos Geradores em Aproveitamentos Hídricos*. (2017). Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Coating Technology: Evaporation Vs Sputtering. Gianni Monaco, PhD R&D project manager, Satisloh Italy 04.04.2016 V1
- Djoko, Ir. (2003) Thin Film Deposition. Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering Univesity of Indonesia.
- European Norm EN 13306 (2010). *Maintenance – Maintenance Terminology*. European Committee for Standardization, Brussels.
- Farinha, T. (2011). *Manutenção – A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Monitor, Lisboa.
- Fertuzinhos, J. (2013) *Aplicação da metodologia de Manutenção numa empresa Metalomecânica*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães.
- FD X 60-000 (2002). *Maintenance industrielle – Fonction maintenance*. Association Française de Normalisation. Disponível em: http://www.ehpadneuilly.com/cariboost_files/FDX_60-000.pdf
- Lotti, Raquel S., Machado, André Wilson, Mazzeiro, Ênio Tonani, & Landre Júnior, Janes. (2006). Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial, 11(2), 35-43. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-54192006000200006>
- Mungani, D.S., & Visser, J.K. (2013). Maintenance approaches for different production methods. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 1-13.
- NE 343: Microfabrication and thin film technology. Instructor: Bo Cui, ECE, University of Waterloo; <http://ece.uwaterloo.ca/~bcui/>. Text book: Silicon VLSI Technology by Plummer, Deal and Griffin
- Raminhos, M. (2010). *Aplicação de Manutenção Planeada e de Novas Metodologias de Gestão em Equipamentos de uma Empresa Metalomecânica*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Silva, D. (2013). *Deteção e Previsão de Falhas em Equipamentos de Produção Industrial*. Tese de Mestrado em Logística, Instituto Politécnico do Porto, Porto.
- Soares, F. (2015). *Introdução da Manutenção Preventiva Sistemática nos SASUC*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Usrey, Michael & G. Wilmeth, Randall. (2000). *Reliability-Centered Maintenance: A Case Study*. Engineering Management Journal; EMJ. 12. 25-31.

Fontes on-line de teses de mestrado consultadas

file:///E:/ID/Tese_Mest_Miguel-Duarte-Silva_FORMATA_FARINHA.pdf

file:///E:/ID/Tese_Mest_hospital_Bruno_Magalhães_MTB_2011.pdf

file:///E:/ID/Tese_Mest_Pedro-Dias.pdf

https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/7305/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Mario_Castro.pdf

<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/5506/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>

<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3810/1/Tese%20Final%20-%20Carla%20Mouta.pdf>

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60372/1/000134625.pdf>

Webgrafia

www.ionbond.com

www.ceramed.pt

www.redspot.com

www.destinytool.com

www.coatingsolutions.saint-gobain.com

www.azom.com

www.metalilux.com

www.angstromengineering.com

www.semicore.com

https://stuff.mit.edu/afs/athena.mit.edu/course/3/3.082/www/team2_f02/Pages/processing.html

www.tungsten.com

<https://en.wikipedia.org>

www.jeol.co.jp

www.ajaint.com

www.lesker.com

www.petfilmfoil.com

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3543/6/5-CAP1.pdf>

www.oxford-vacuum.com

www.samaterials.com

http://lnf-wiki.eecs.umich.edu/wiki/Sputter_deposition

portuguese.tantalumniobium.com

www.magnetstek.com

www.sputteringcomponents.com

www.skf.com

www.advancedenergyblog.com

<http://pt.target-sputtering.com>

www.pvdtarget.com

www.enduracoatings.com

www.royal-source.com

<https://pt.slideshare.net/LucasCR12/grupo-de-acionamento>

<http://supervacindustries.blogspot.com>

<https://vacaero.com>

www.leybold.com

www.idealvac.com

<https://techblog.ctgclean.com>

www.intervalvulas.com.br

<http://hvac-system-basics.blogspot.com>

<http://www.teandm.pt/>

<http://eesemi.com/sputtering.htm>

https://www.physlab.org/wp-content/uploads/2016/04/Murtaza_presentaion.pdf

<https://docplayer.net/23171149-Sputtering-cont-and-other-plasma-processes.html>

www.prirev.com

<https://materion.com/>

www.heattech.com.br

<http://pt.iksvacuum.com>

www.bendplating.com

www.oerlikon.com

Fontes das imagens

¹-http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/cosmosxpresshelp/c_tetrahedral_elements.htm,
acedido em 15-09-2018, 20:05

²-<http://www.ceramed.pt/servicos?setLn=pt>, acedido em 08-11-2018, 23:29

³-<http://www.redspot.com/products/pvd.html>, acedido em 08-11-2018, 14:34

⁴-<https://www.destinytool.com>, acedido em 06-11-2018, 20:05

⁵-<https://www.coatingsolutions.saint-gobain.com/applications/aerospace>, acedido em 05-09-2018, 20:04

⁶-www.coatingsolutions.saint-gobain.com, acedido em 07-06-2018, 10:05

⁷-<http://www.metalilux.com/pvdapplications/automotive/>, acedido em 08-11-2018, 23:36

⁸-<https://angstromengineering.com/resistive-thermal-evaporation-pvd-system/>, acedido em 23-08-2018, 23:43

⁹-<http://www.semicore.com/images/photos/thermal-evaporation-process.png>, acedido em 08-11-2018, 22:34

¹⁰-https://stuff.mit.edu/afs/athena.mit.edu/course/3/3.082/www/team2_f02/Pages/processing.html, acedido
em 08-11-2018, 23:56

¹¹-<https://slideplayer.com/slide/5677023/>, acedido em 08-11-2018, 23:58

¹²-<https://www.tungsten.com/how-does-electron-beam-evaporation-work/>, acedido em 08-11-2018, 22:54

¹³-[https://en.wikipedia.org/wiki/Electron-
beam_physical_vapor_deposition#/media/File:Electron_Beam_Deposition_001.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_physical_vapor_deposition#/media/File:Electron_Beam_Deposition_001.jpg), acedido em 08-11-2018,
22:19

¹⁴-<https://www.jeol.co.jp/en/science/eb.html>, acedido em 08-11-2018, 22:32

¹⁵-<https://www.jeol.co.jp/en/science/eb.html>, acedido em 08-11-2018, 21:05

¹⁶-<http://www.ajaint.com/what-is-e-beam-evaporation.html>, acedido em 08-11-2018, 23:40

¹⁷-https://www.jeol.co.jp/en/products/detail/BS-60211DEM_60210DEM.html, acedido em 08-11-2018,
22:54

^{18, 19, 20, 21}-<https://www.lesker.com>, acedido em 08-11-2018, 22:06

²²-http://www.satisloh.com/fileadmin/contents/Whitepaper/Evaporation-vs-Sputtering-Coating_EN.pdf,
acedido em 08-10-2018, 23:21

²³-www.apple.com, acedido em 08-11-2018, 12:32

- ²⁴-<http://www.petfilmfoil.com/Pet-film-for-metallizing.html>, acessado em 08-11-2018, 12:32
- ²⁵-www.oxford-vacuum.com, acessado em 10-12-2018, 12:12
- ²⁶-<http://www.samaterials.com/content/115-what-is-sputtering>, acessado em 07-08-2018, 12:45
- ²⁷-<https://coconutoilblog.com/thin-film-semiconductor-deposition-market-research-approach-latest-trends-global-forecast-2017-to-2022/>, acessado em 08-11-2018, 22:12
- ²⁸-<https://slideplayer.com/slide/7313492/>, acessado em 08-11-2018, 12:13
- ²⁹-www.plansee.com, acessado em 10-12-2018, 13:43
- ³⁰-www.lesker.com, acessado em 07-10-2018, 17:32
- ³¹-<http://www.tantalumnioibium.com/sale-10877712-high-purity-niobium-sputtering-target-astm-b392-nb-rectangular-target.html>, acessado em 06-08-2018, 19:43
- ³²-http://www.magnetstek.com/sputtering_targets.html, acessado em 08-11-2018, 23:10
- ³³-<https://www.sputteringcomponents.com/applications/>, acessado em 08-10-2018, 12:08
- ³⁴-<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/engineered-products/nowear-bearings/index.html>, acessado em 08-11-2018, 22:01
- ³⁵-<https://www.advancedenergyblog.com/solutions/thin-films/innovating-cathodic-arc-deposition-high-performance-bias/>, acessado em 08-10-2018, 21:02
- ³⁶-<http://pt.target-sputtering.com/metal-sputtering-targets/vanadium-sputtering-target.html>, acessado em 22-06-2018, 21:09
- ³⁷-<http://www.pvdtarget.com/metal-sputtering-targets/chromium-sputtering-target.html>, acessado em 26-08-2018, 12:48
- ³⁸-<http://www.enduracoatings.com/vapor-hard-thin-film.html>, acessado em 29-06-2018, 12:29
- ³⁹-<https://www.royal-source.com/news/cathodic-arc-deposition-and-multi-arc-vacuum-coater-39467.html>, acessado em 30-09-2018, 22:29
- ⁴⁰-<https://pt.slideshare.net/LucasCR12/grupo-de-acionamento>, LucasCR12, acessado em 26-09-2018, 21:01
- ⁴¹-<http://supervacindustries.blogspot.com>, acessado em 11-11-2018, 09:45
- ⁴²-<https://vacaero.com/information-resources/vacuum-pump-technology-education-and-training/10138-vacuum-pump-oil-circulatory-system-vacuum-furnace.html>, acessado em 11-11-2018, 18:32
- ^{43, 44, 45}-<https://www.youtube.com/watch?v=KNsM1pbbvOo>, acessado em 03-03-2018, 09:39
- ⁴⁶-<https://www.idealvac.com/Varian-336-Water-Cooled-Baffle-for-Varian-VHS-6M6-Diffusion-Pumps-Rebuilt-Refurbished/pp/P102785>, acessado em 19-09-2018, 12:04
- ⁴⁷-<https://www.tungsten.com/tips/diffusion-pumps/>, acessado em 29-08-2018, 23:21
- ^{48, 49}-www.idealvac.com, acessado em 28-11-2018, 10:35

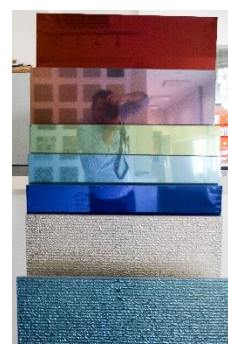
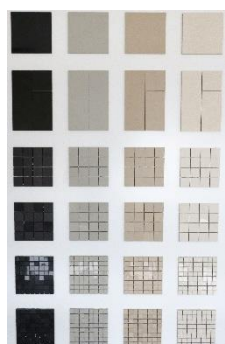
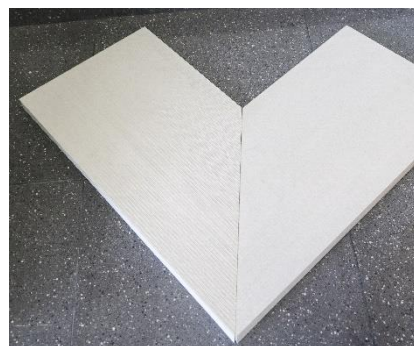
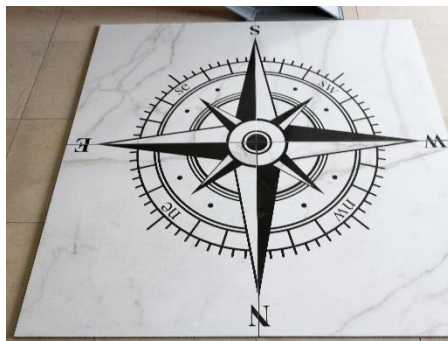
⁵⁰-<https://techblog.ctgclean.com>, acedido em 29-11-2018, 23:27

⁵¹-www.intervalvulas.com.br, acedido em 11-11-2018, 23:31

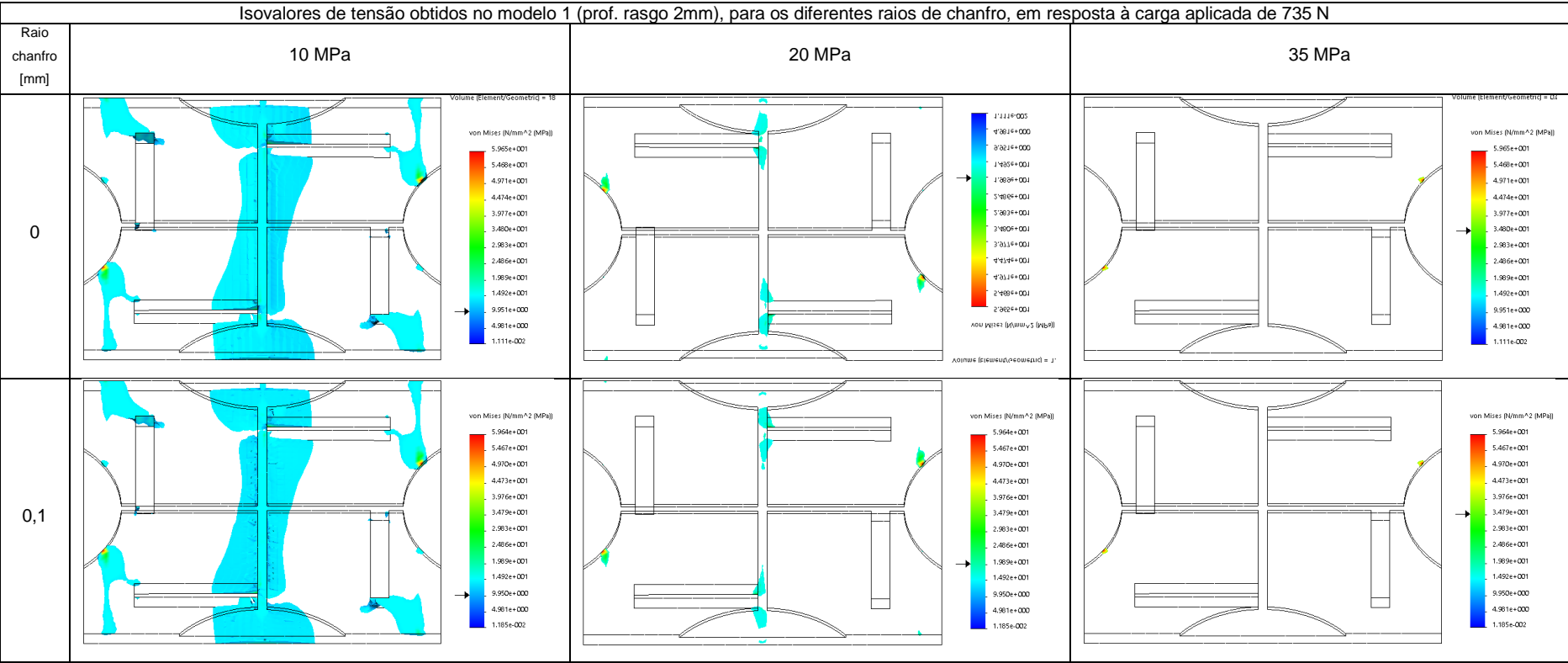
⁵²-<http://hvac-system-basics.blogspot.com>, acedido em 11-12-2018, 12:45

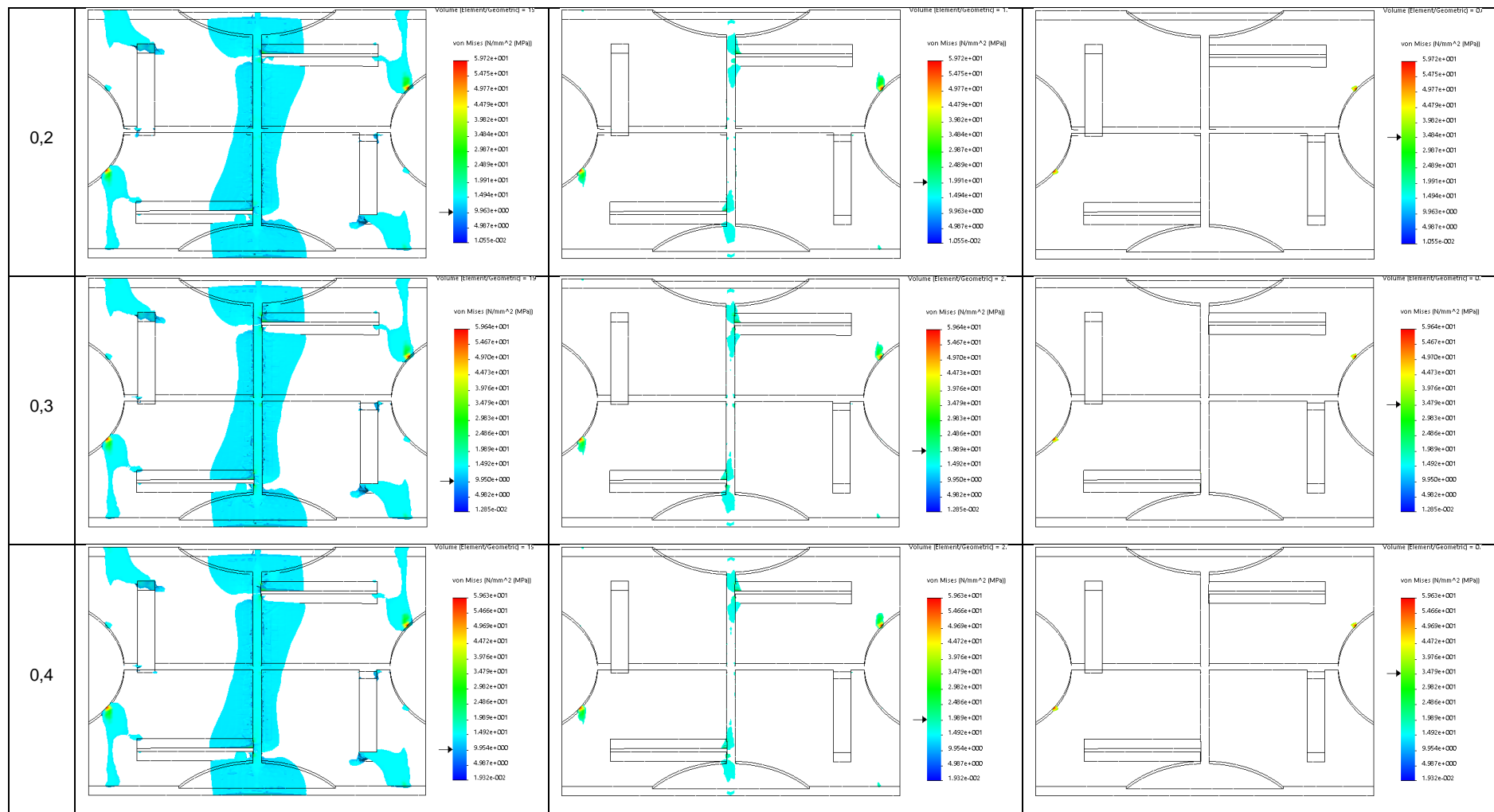
ANEXOS

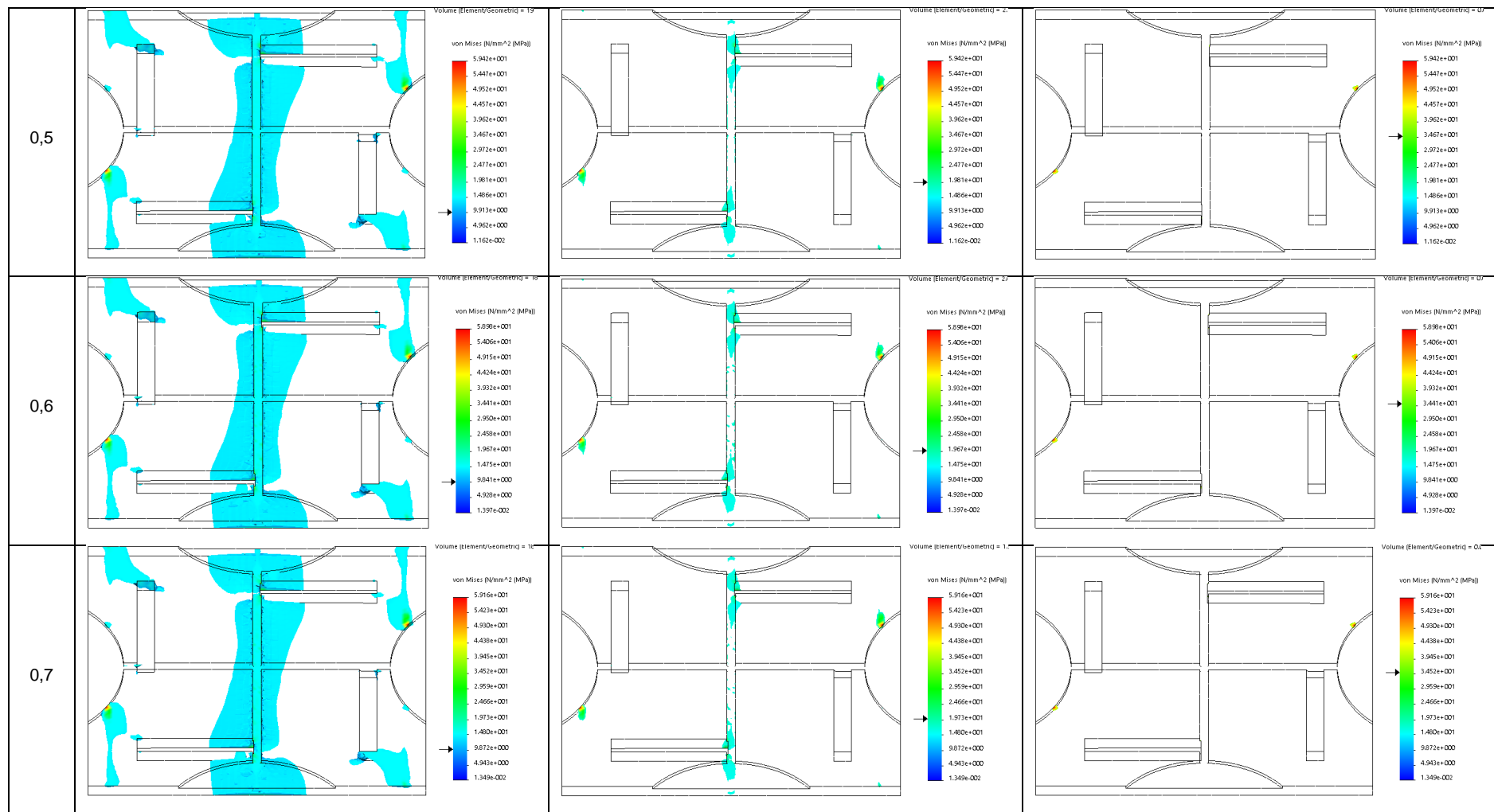
ANEXO 1. Alguns tipos de produtos realizados na empresa.

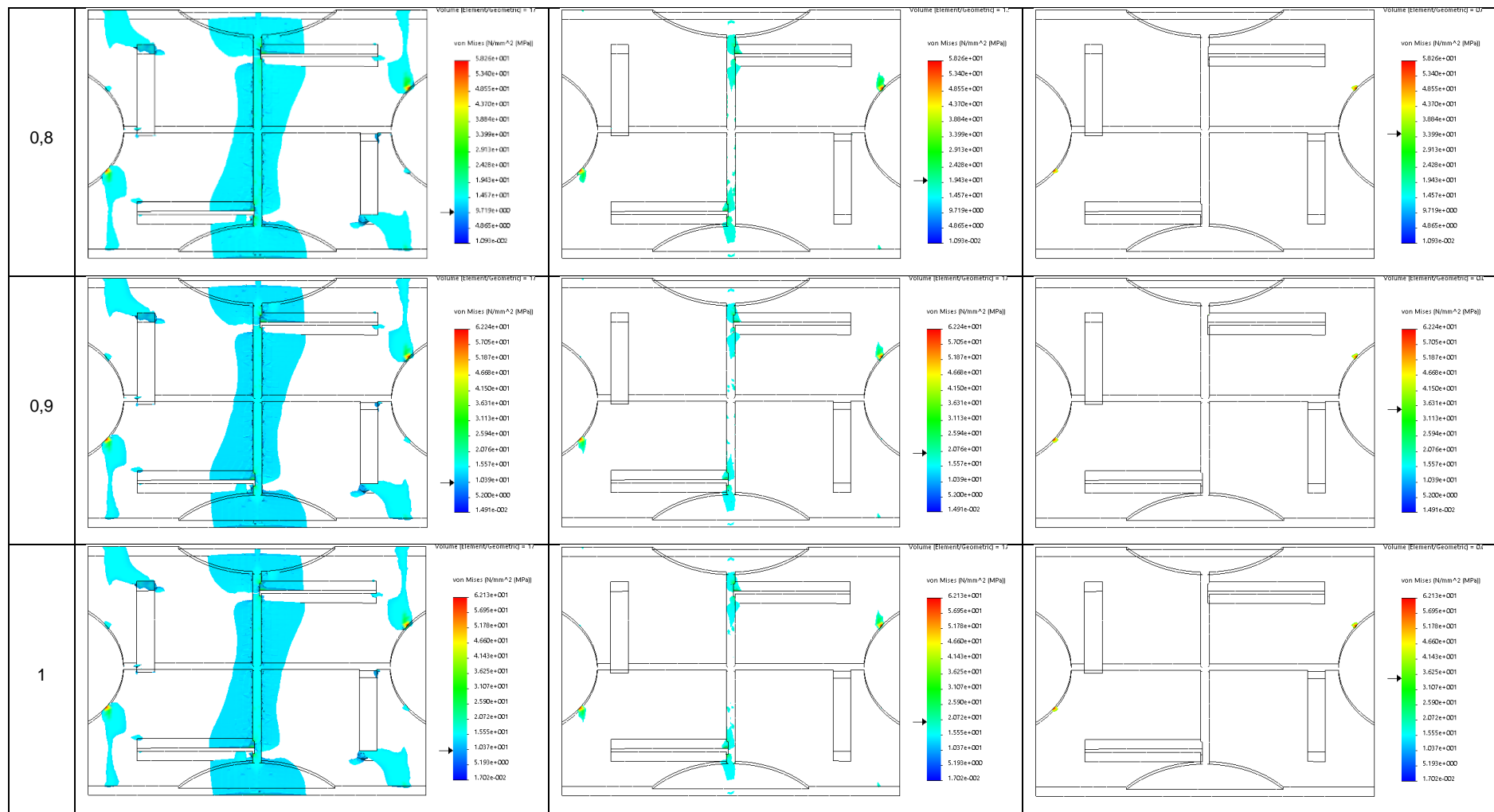


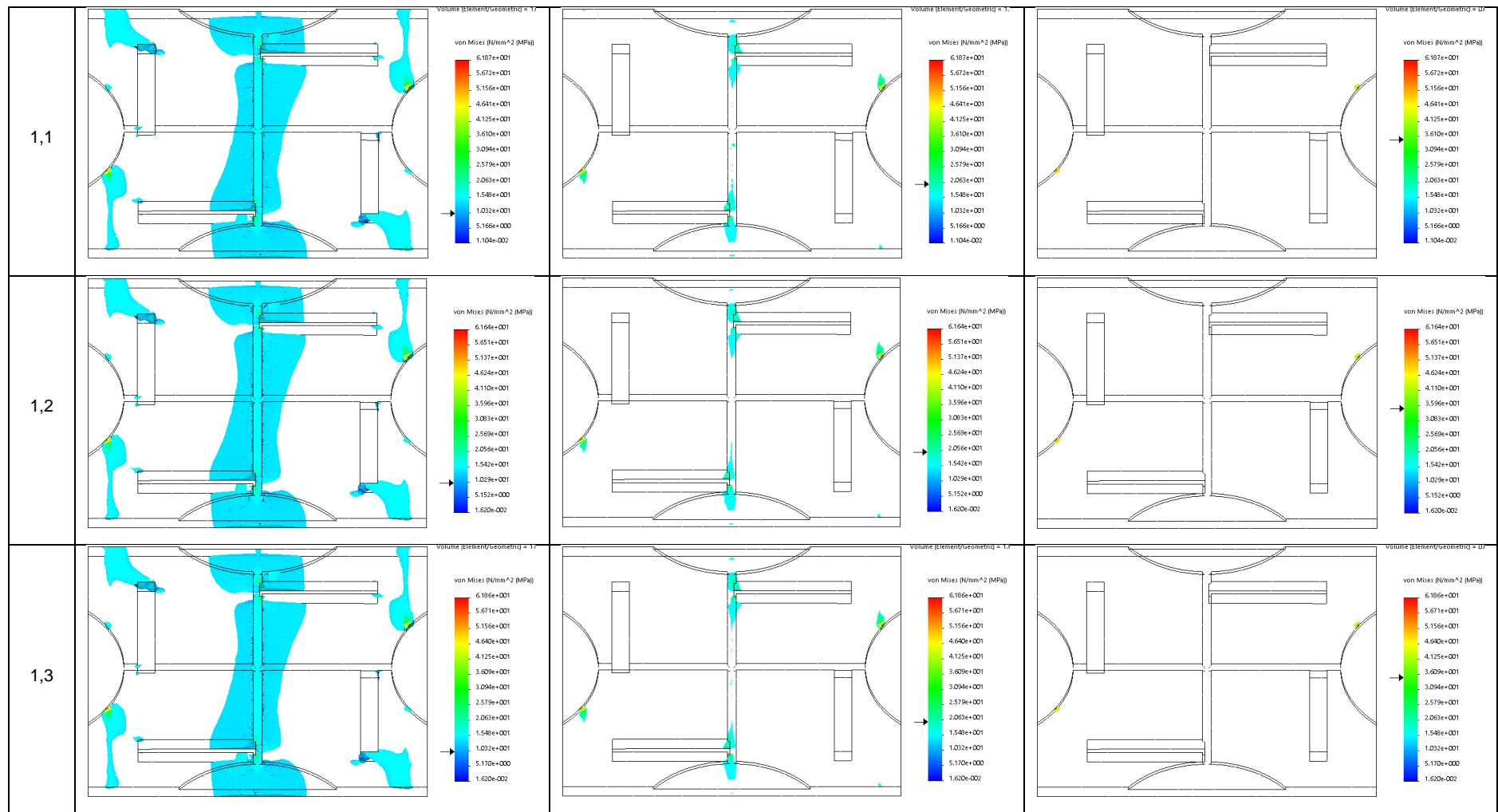
ANEXO 2. Isovalores e deslocamento dos modelos 1, modelo 1.1 e modelo 1.2, para os diferentes raios de chanfro, em resposta à carga aplicada de 735 N.

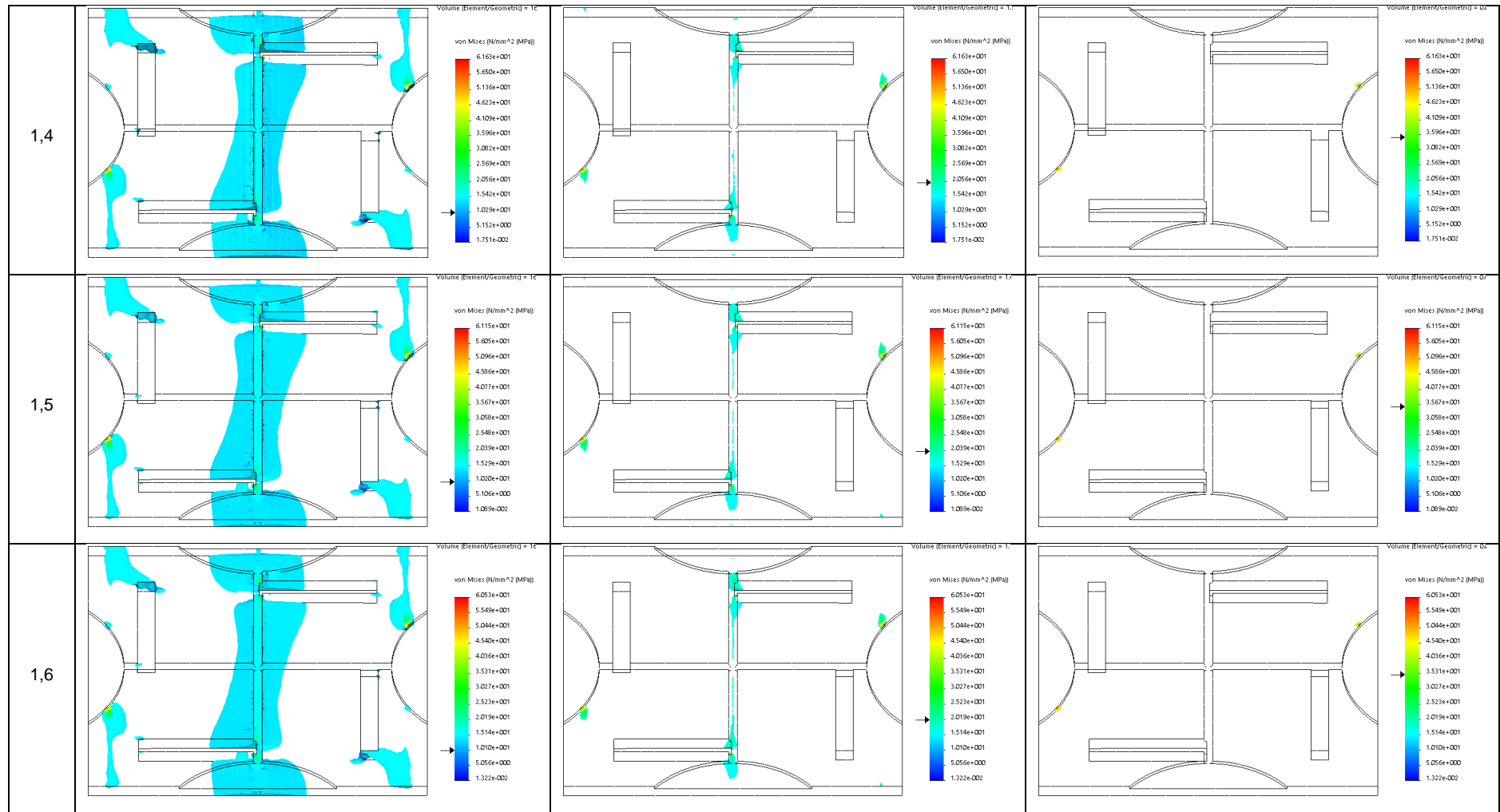


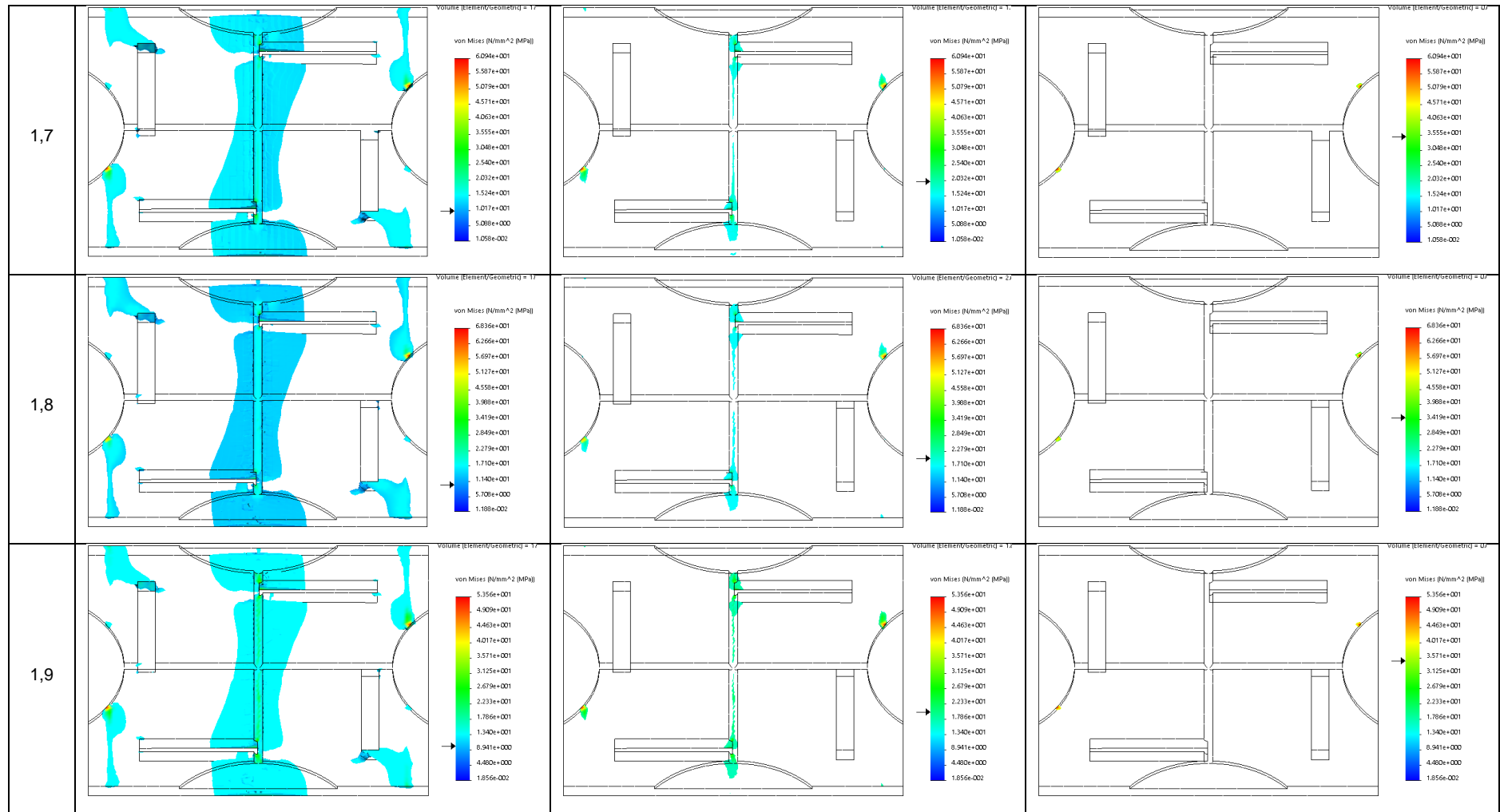




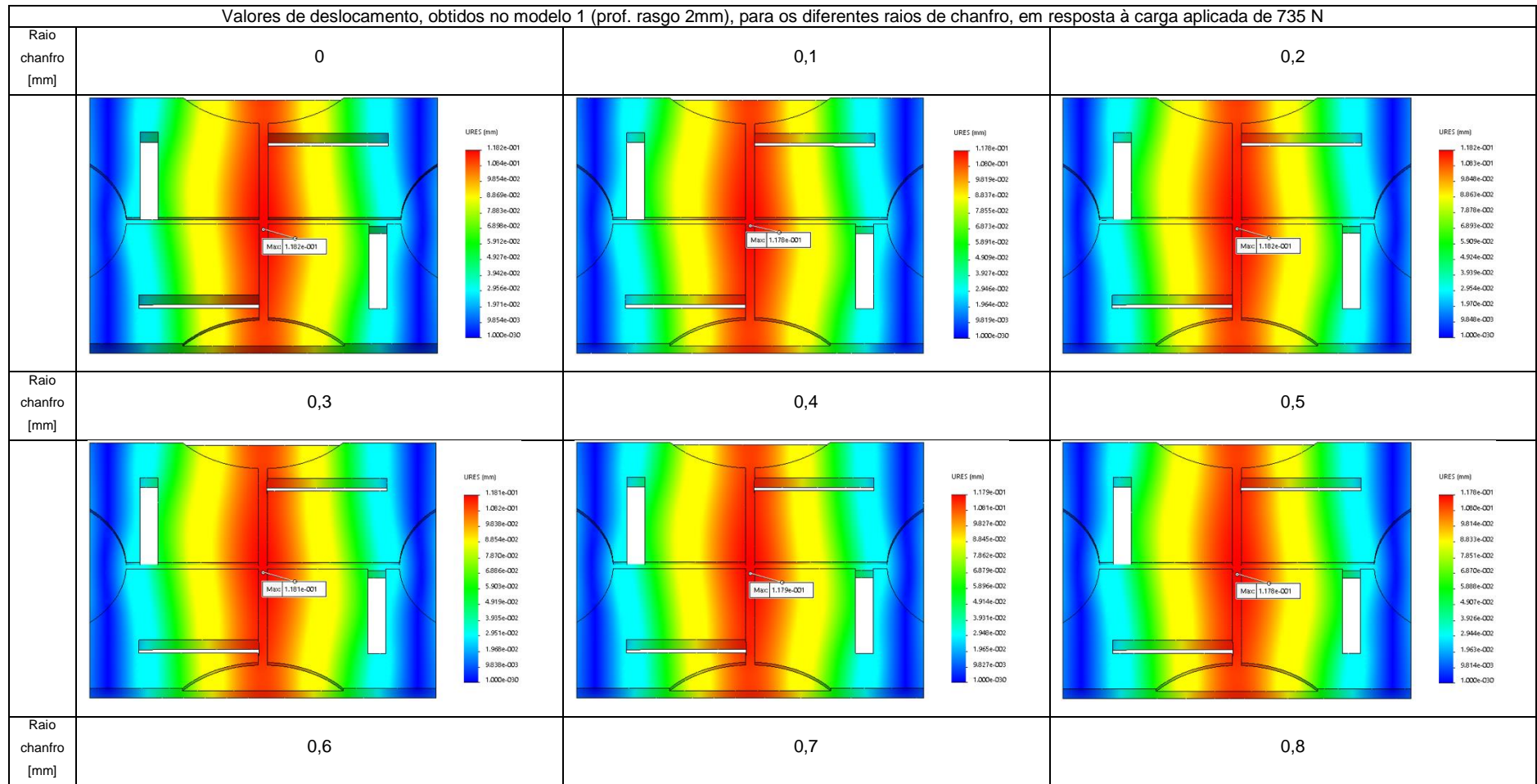


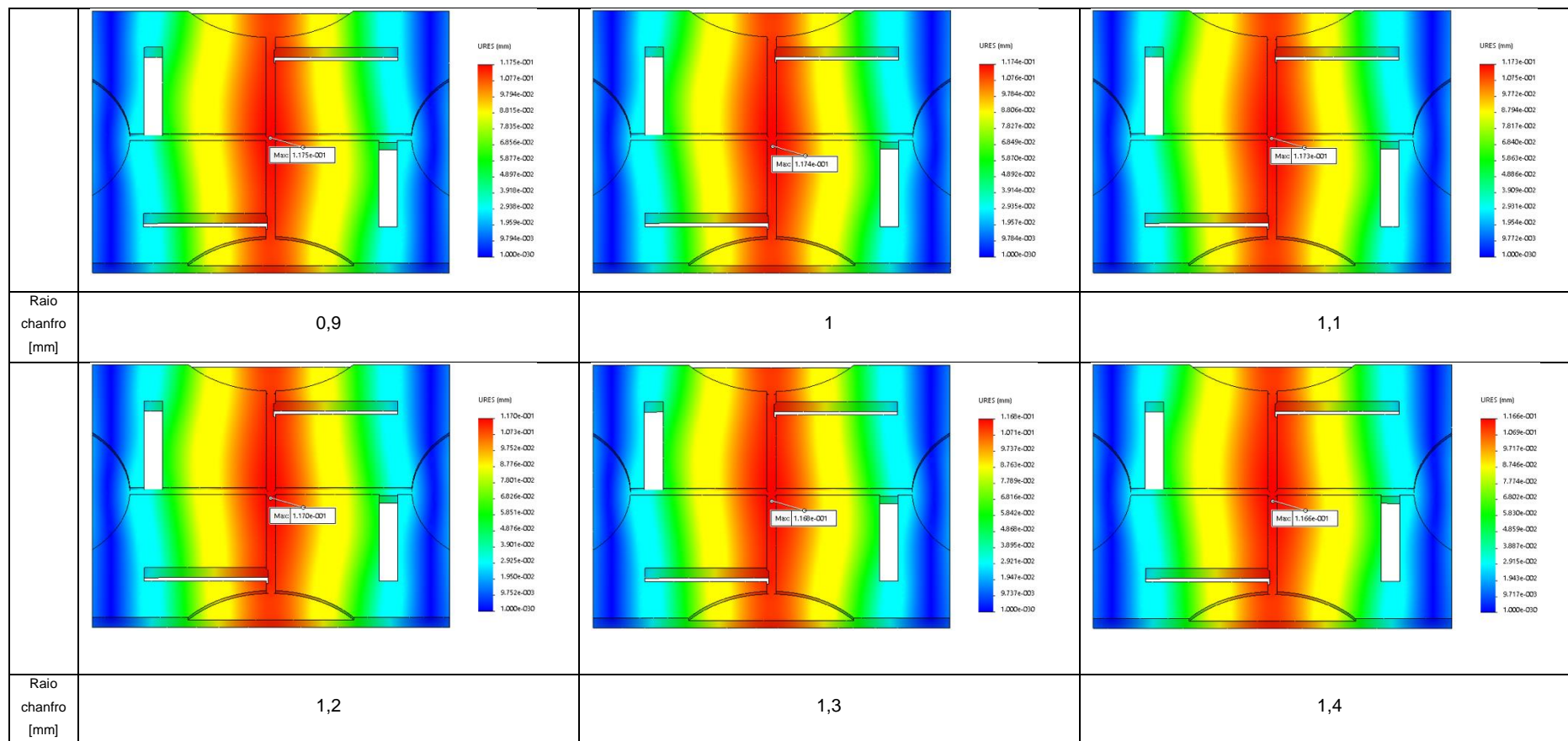


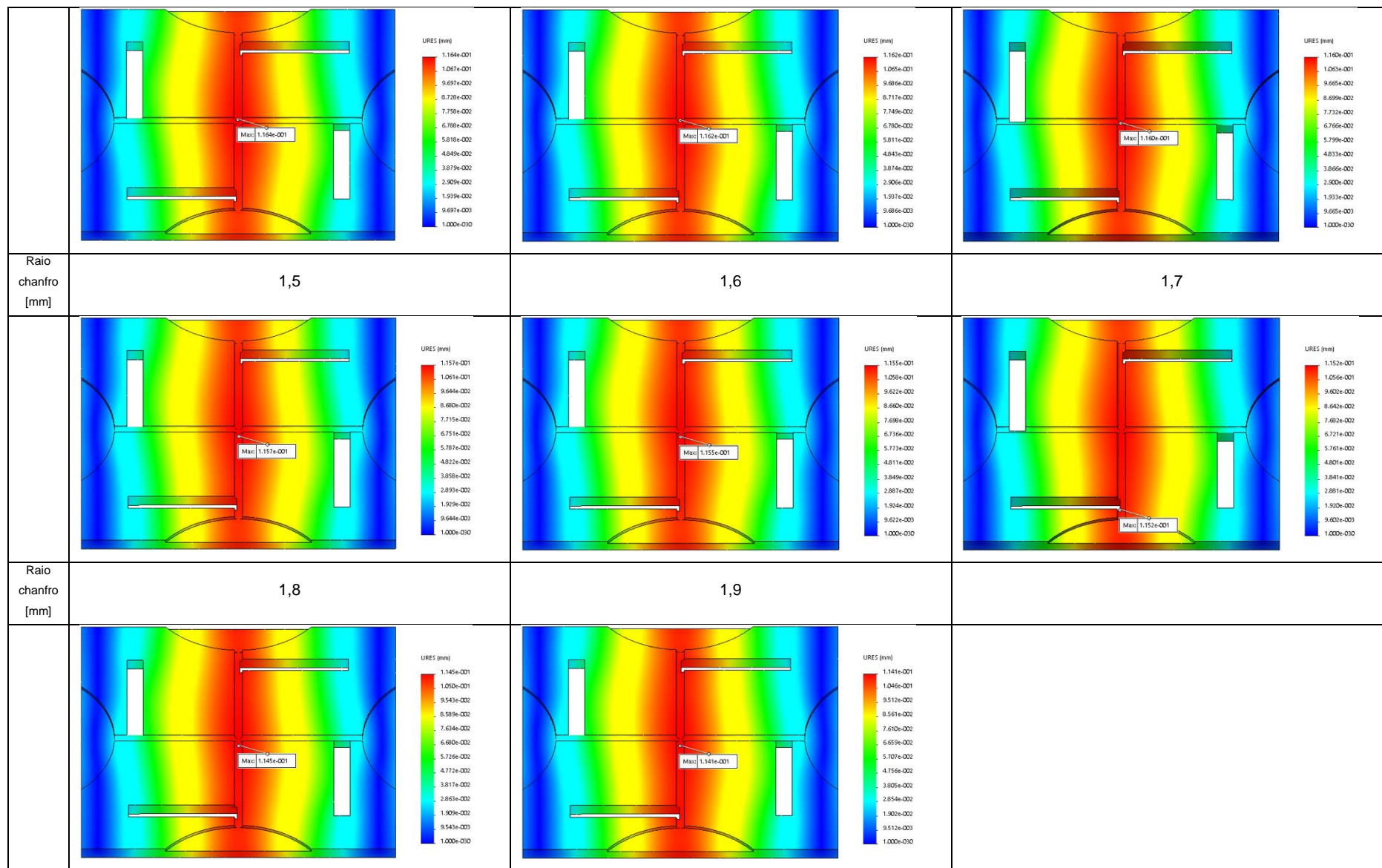


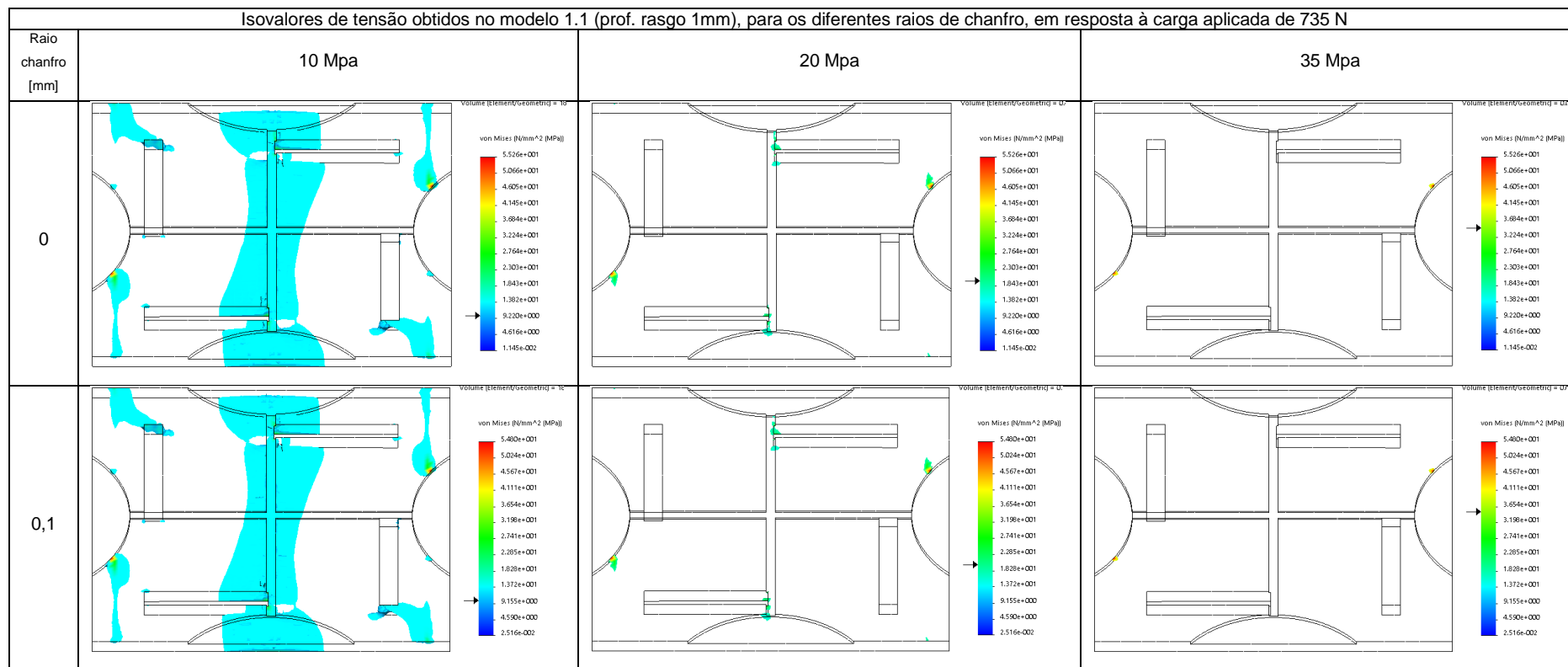


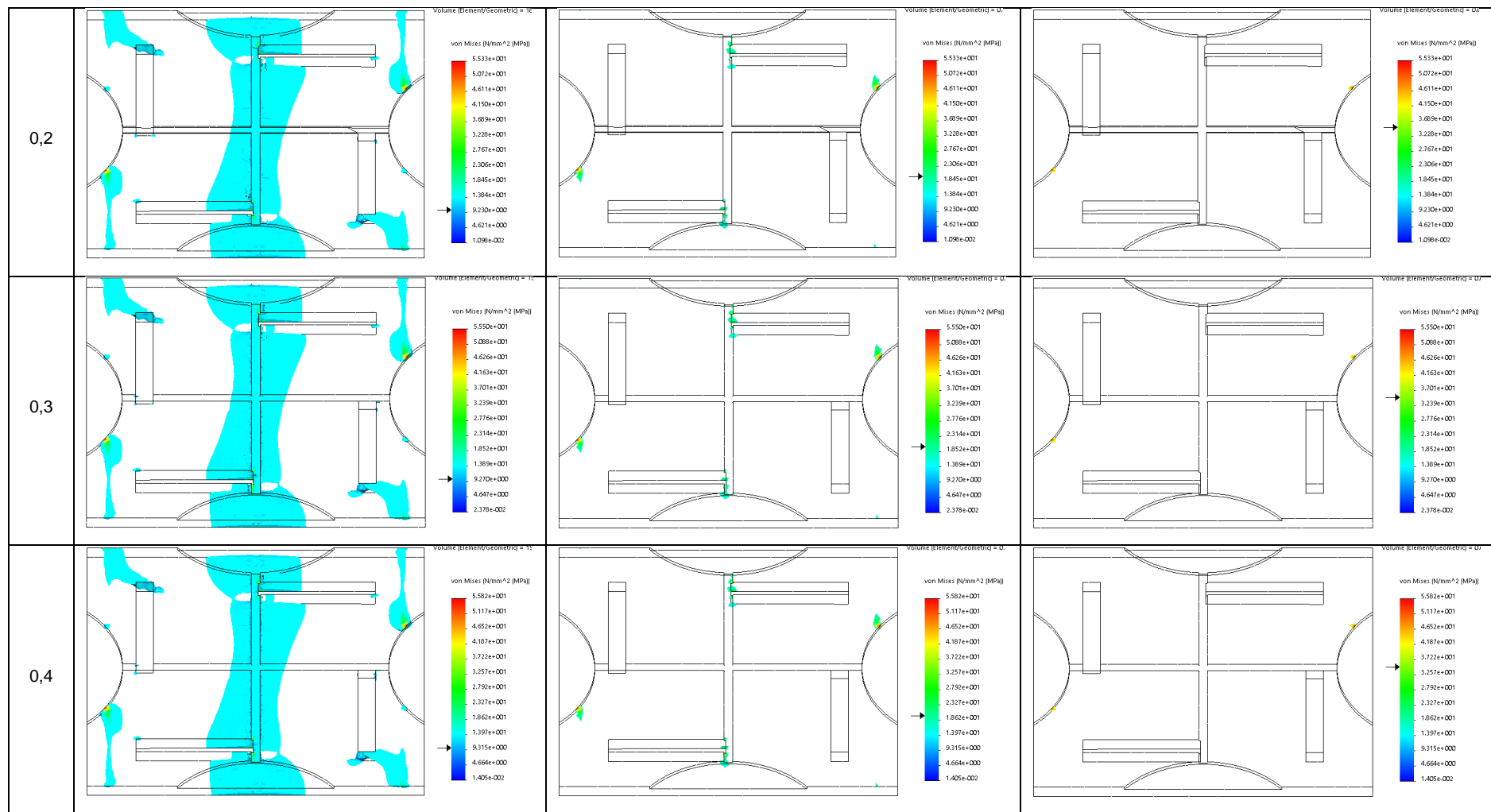
Valores de deslocamento, obtidos no modelo 1 (prof. rasgo 2mm), para os diferentes raios de chanfro, em resposta à carga aplicada de 735 N

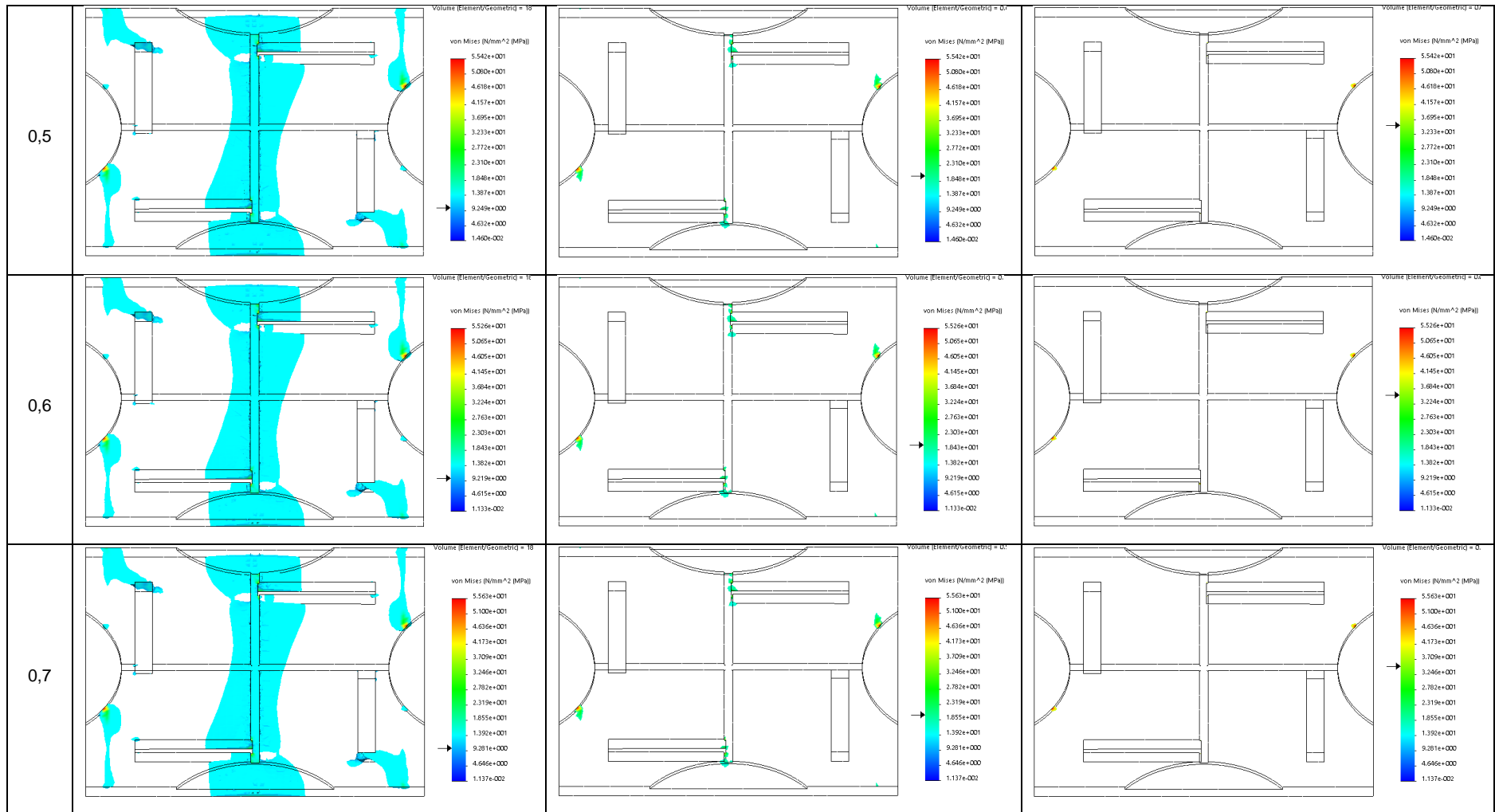


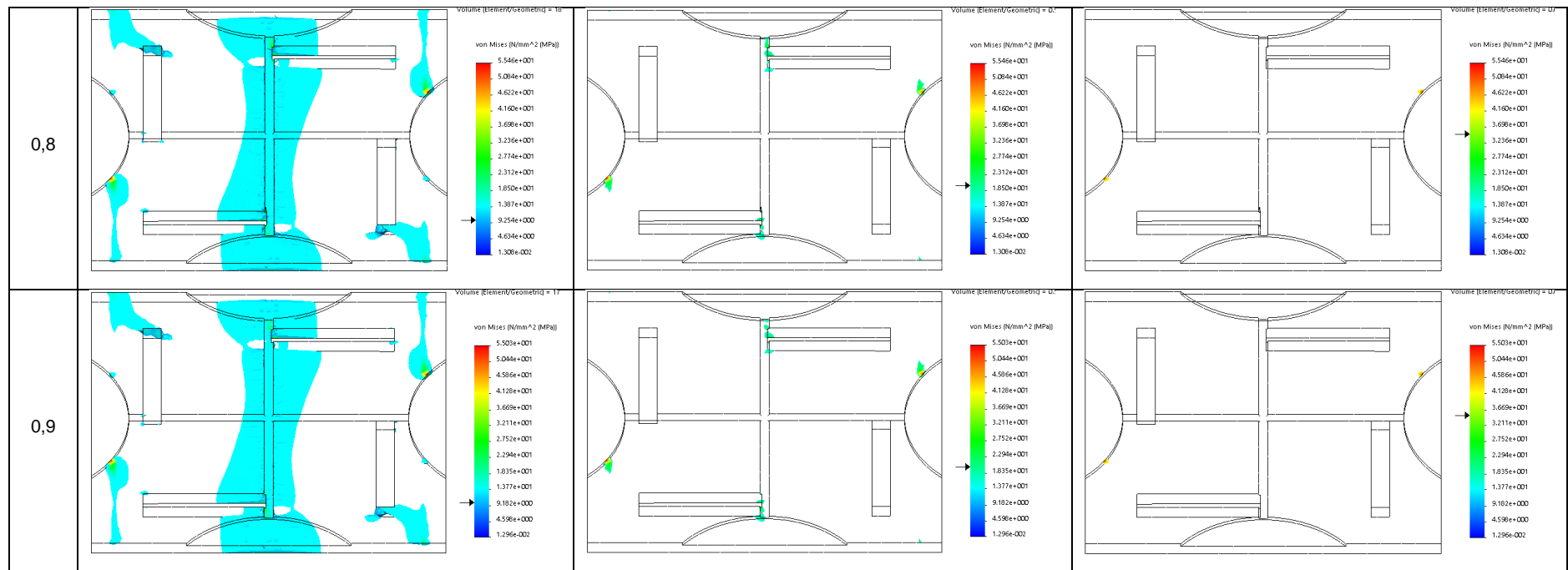


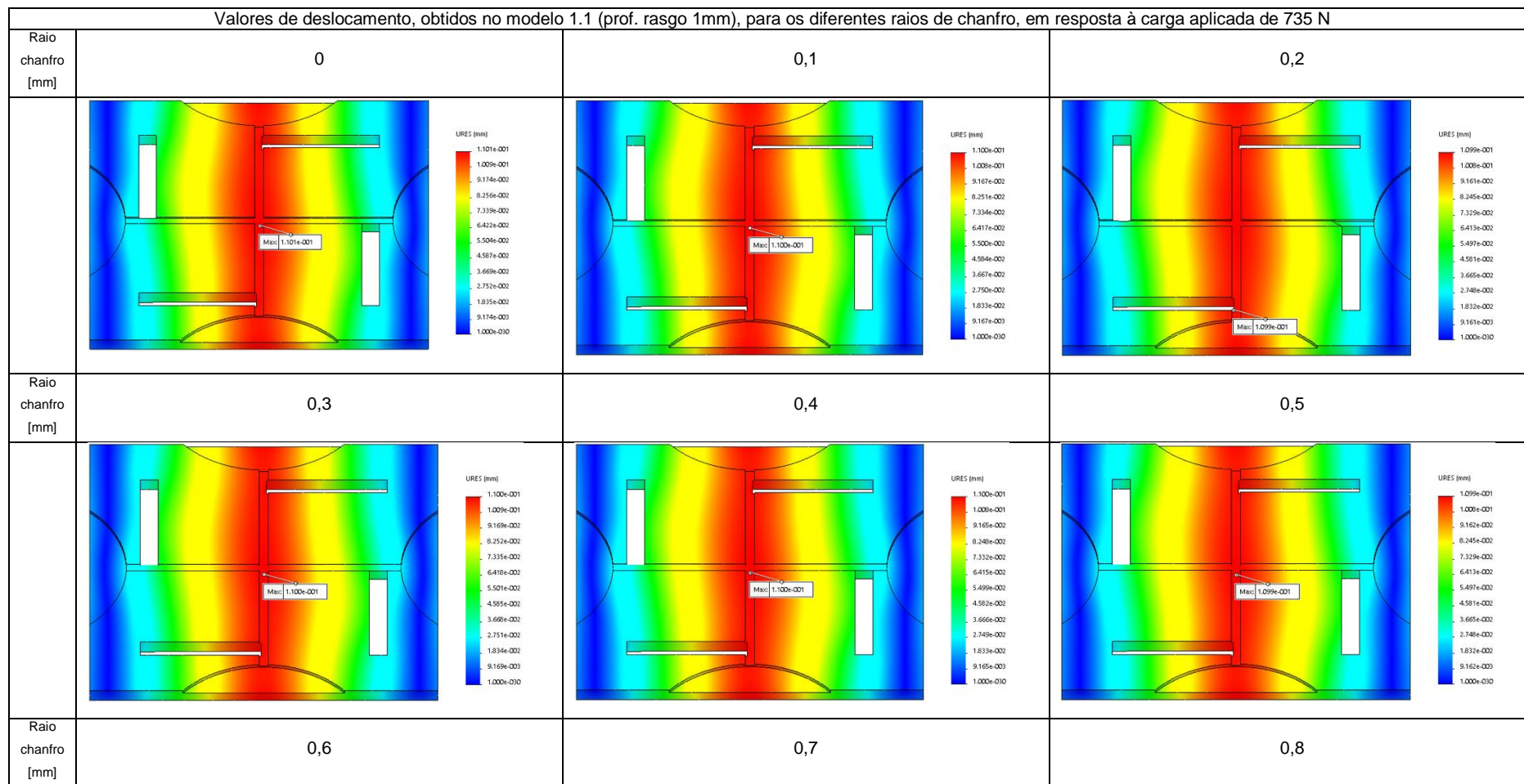


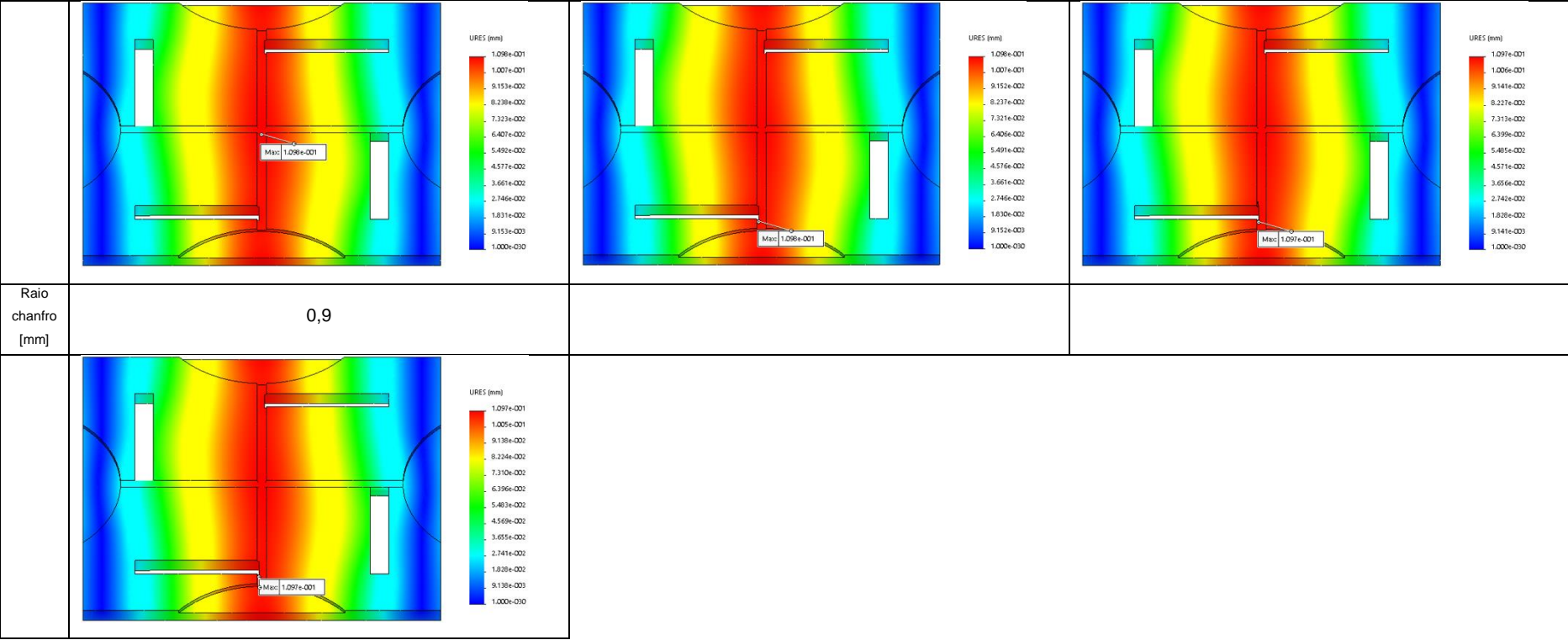


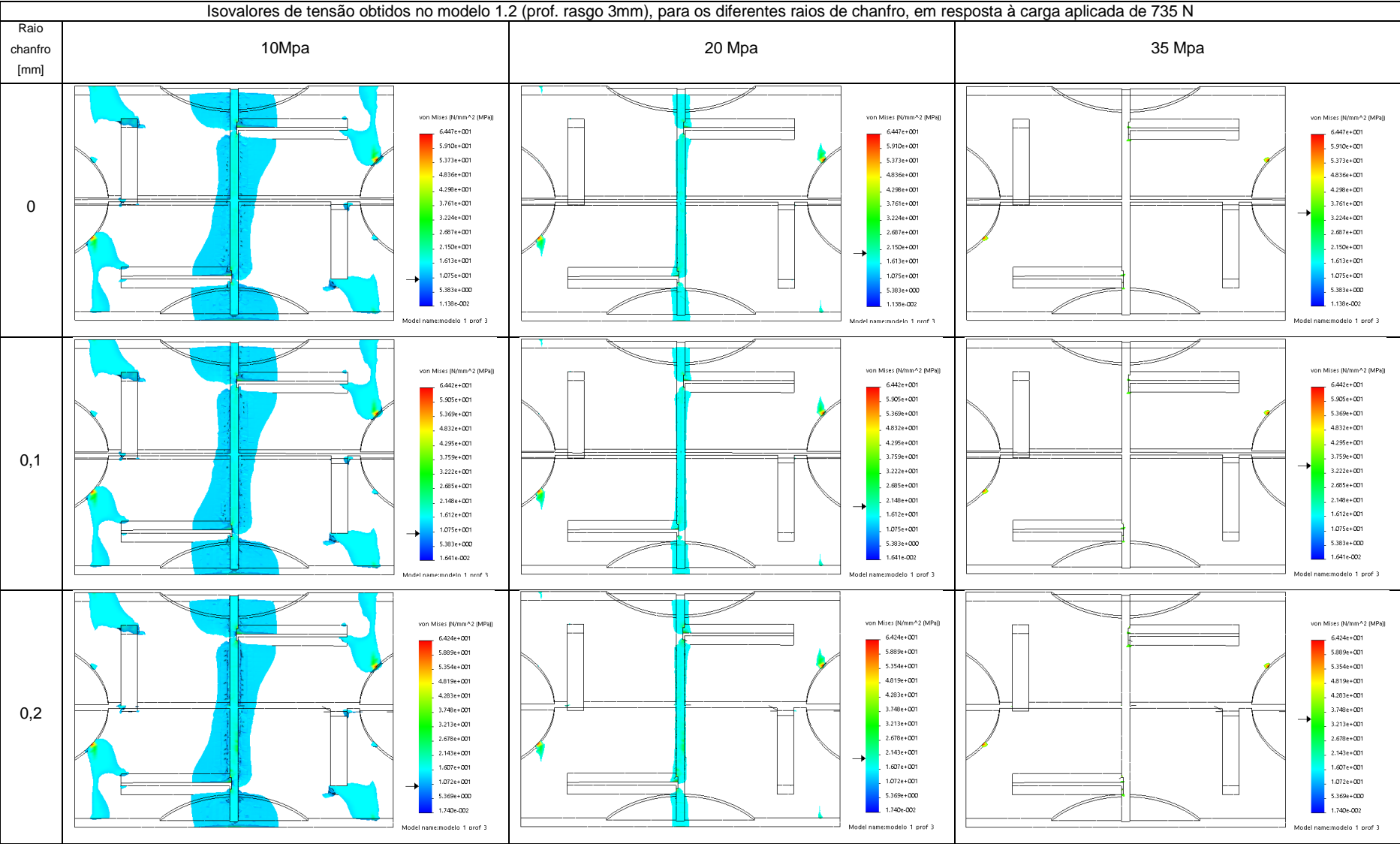


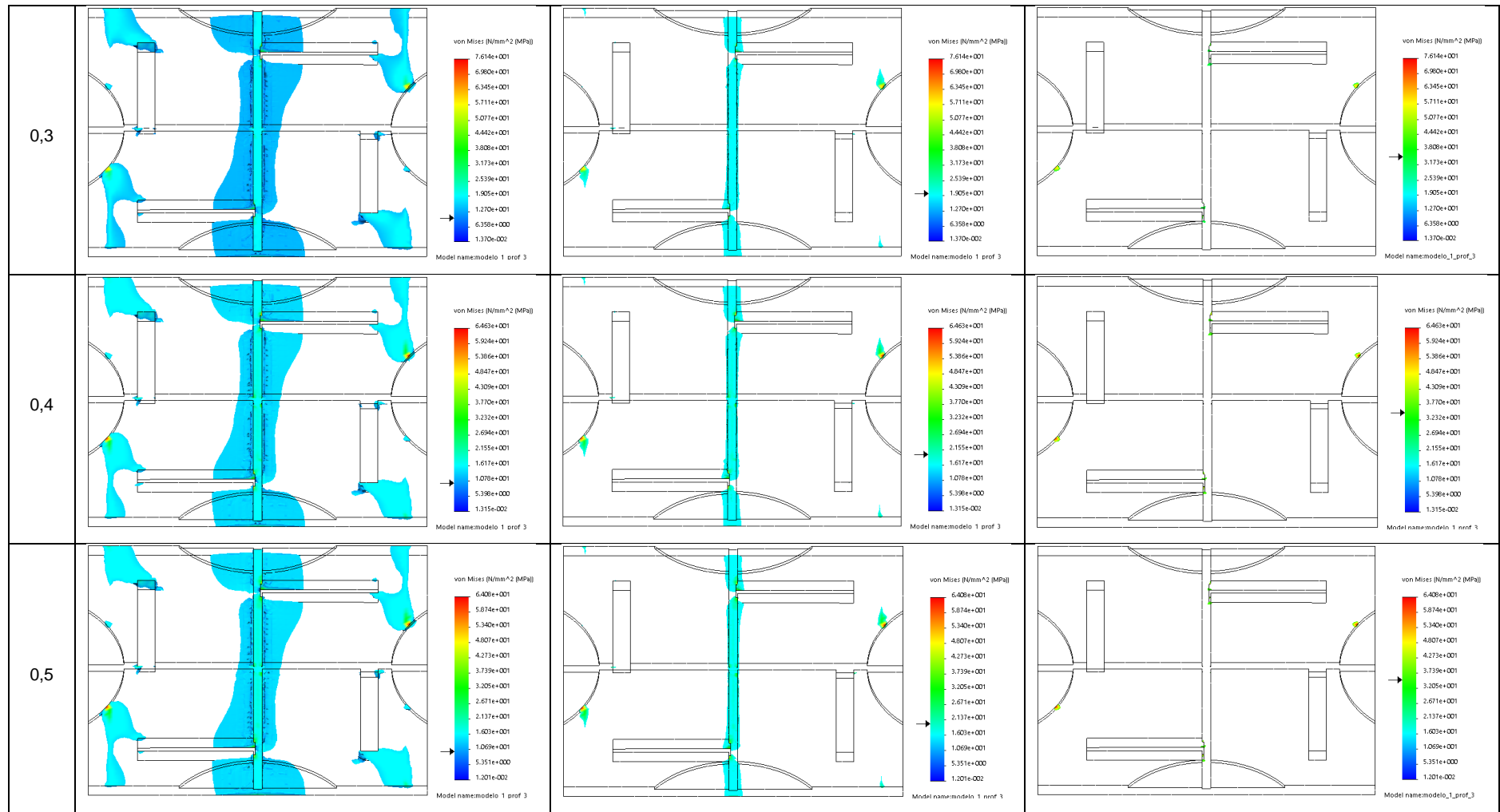


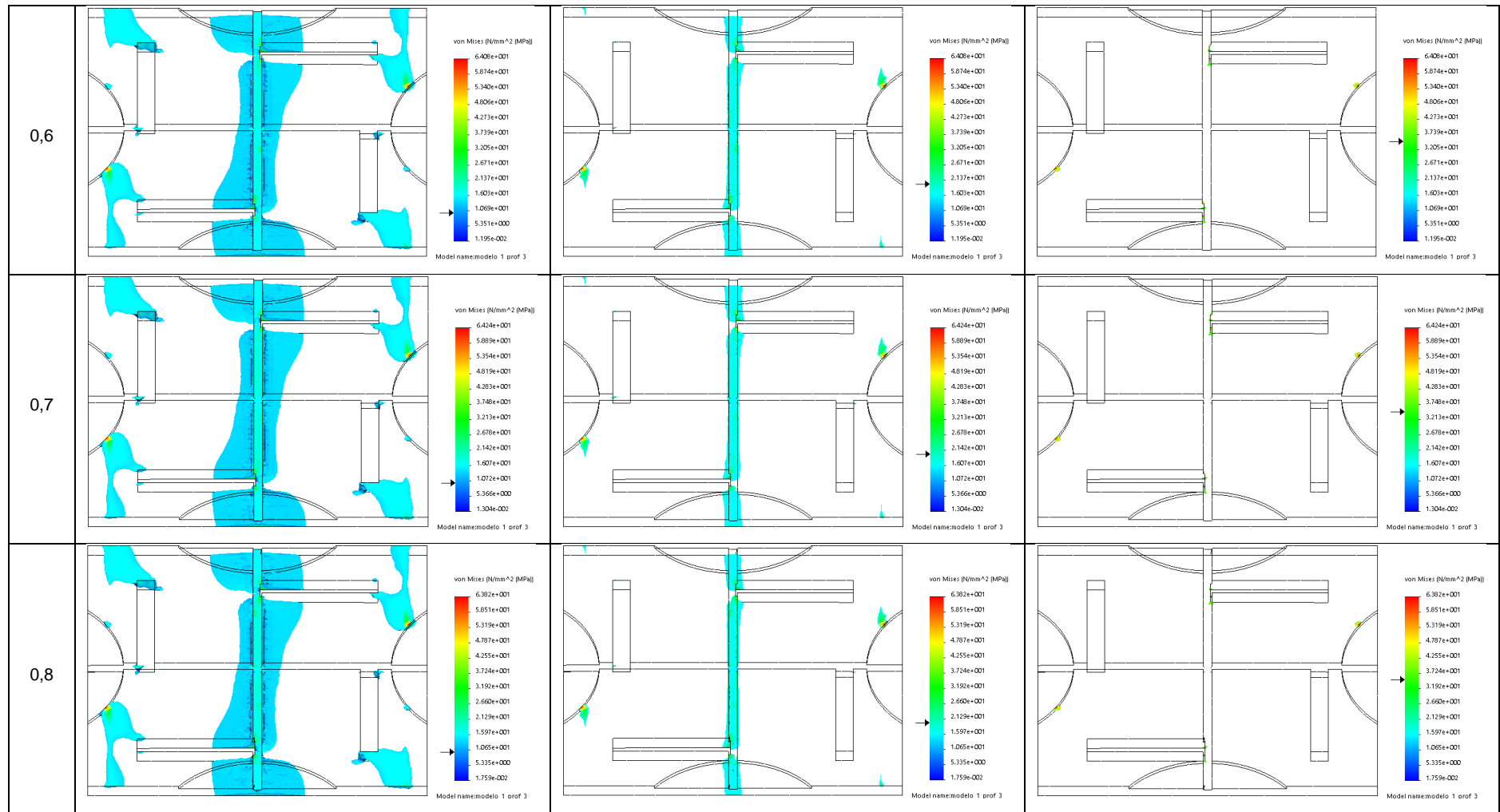


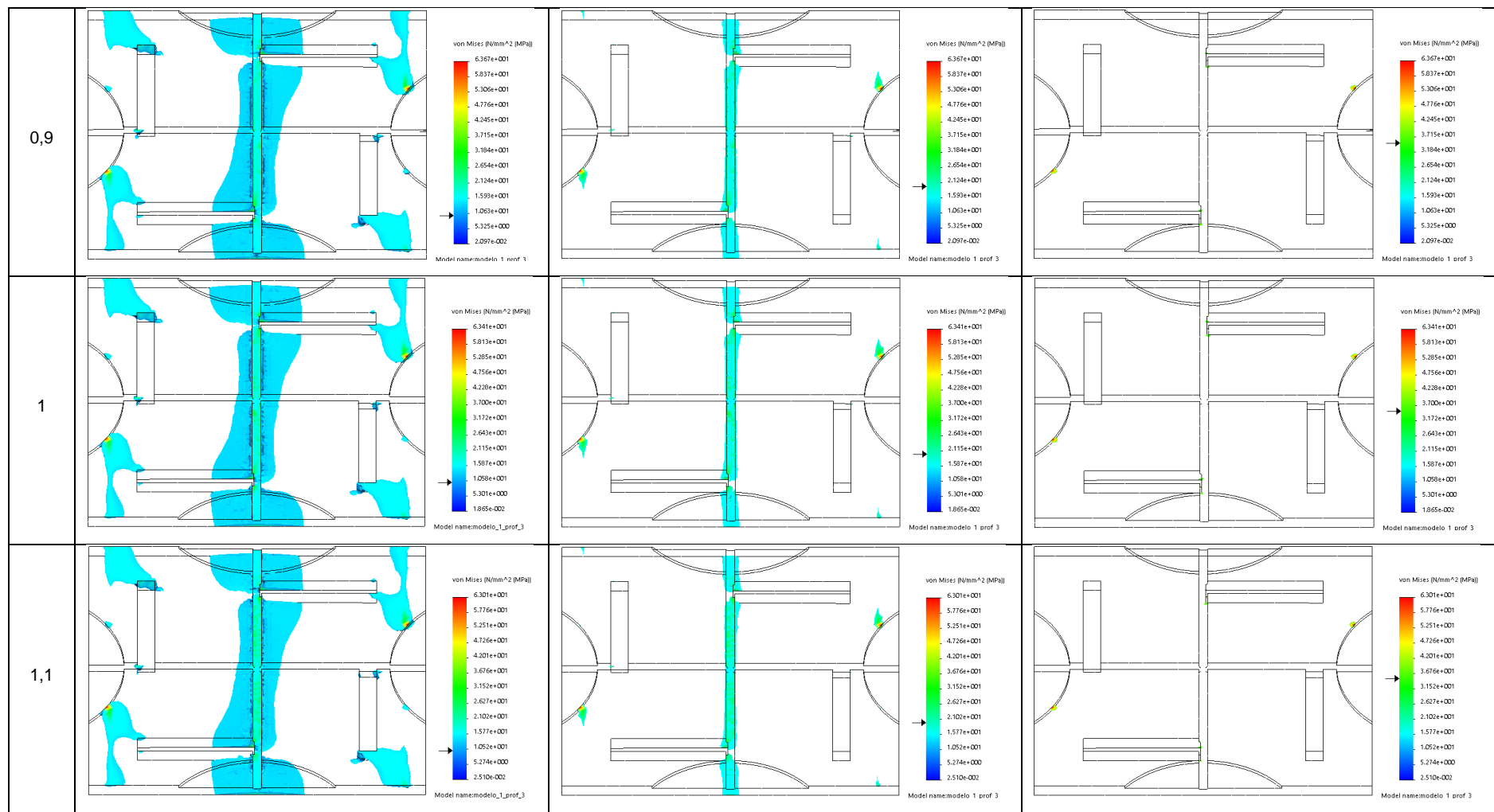


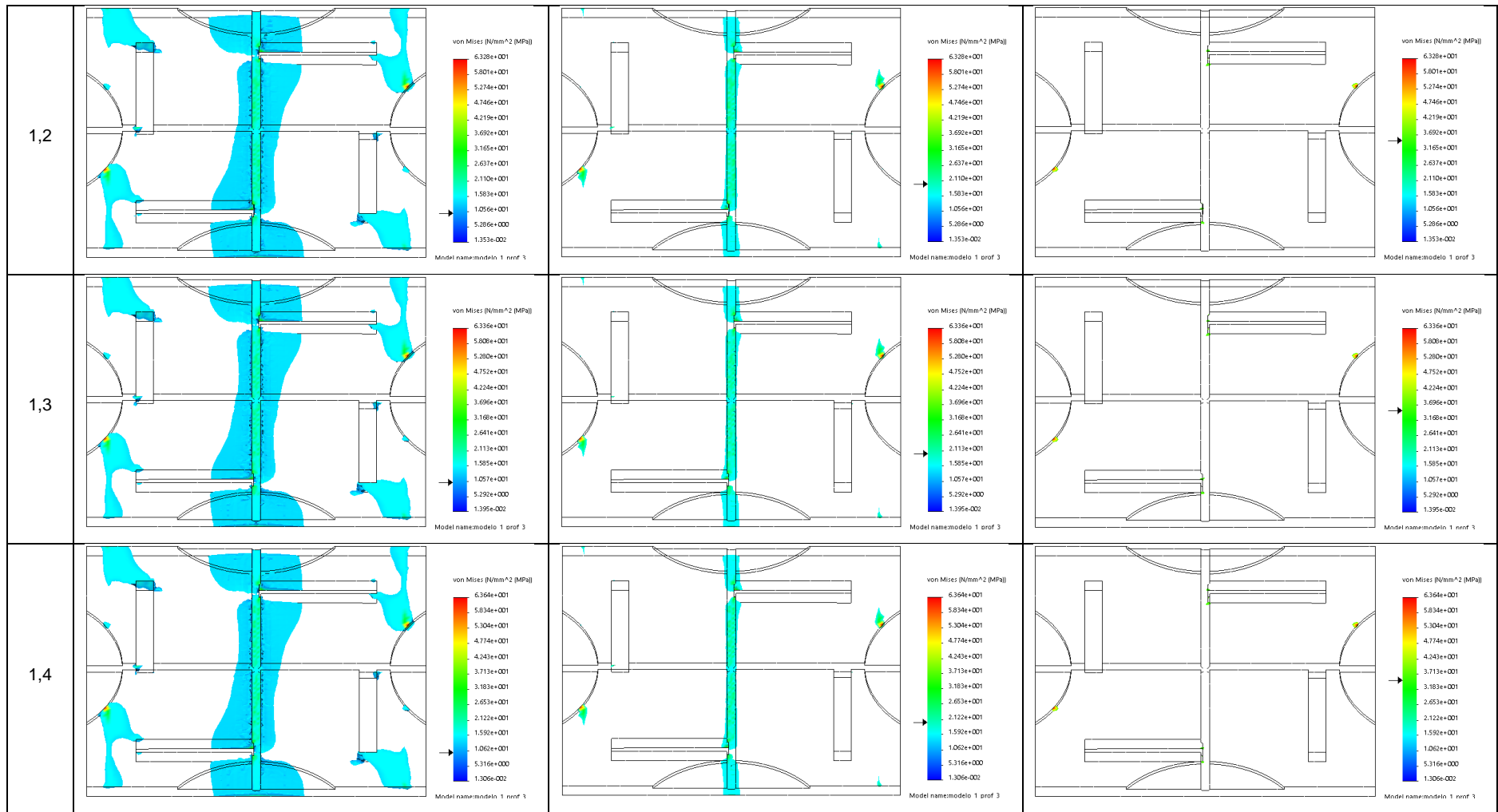


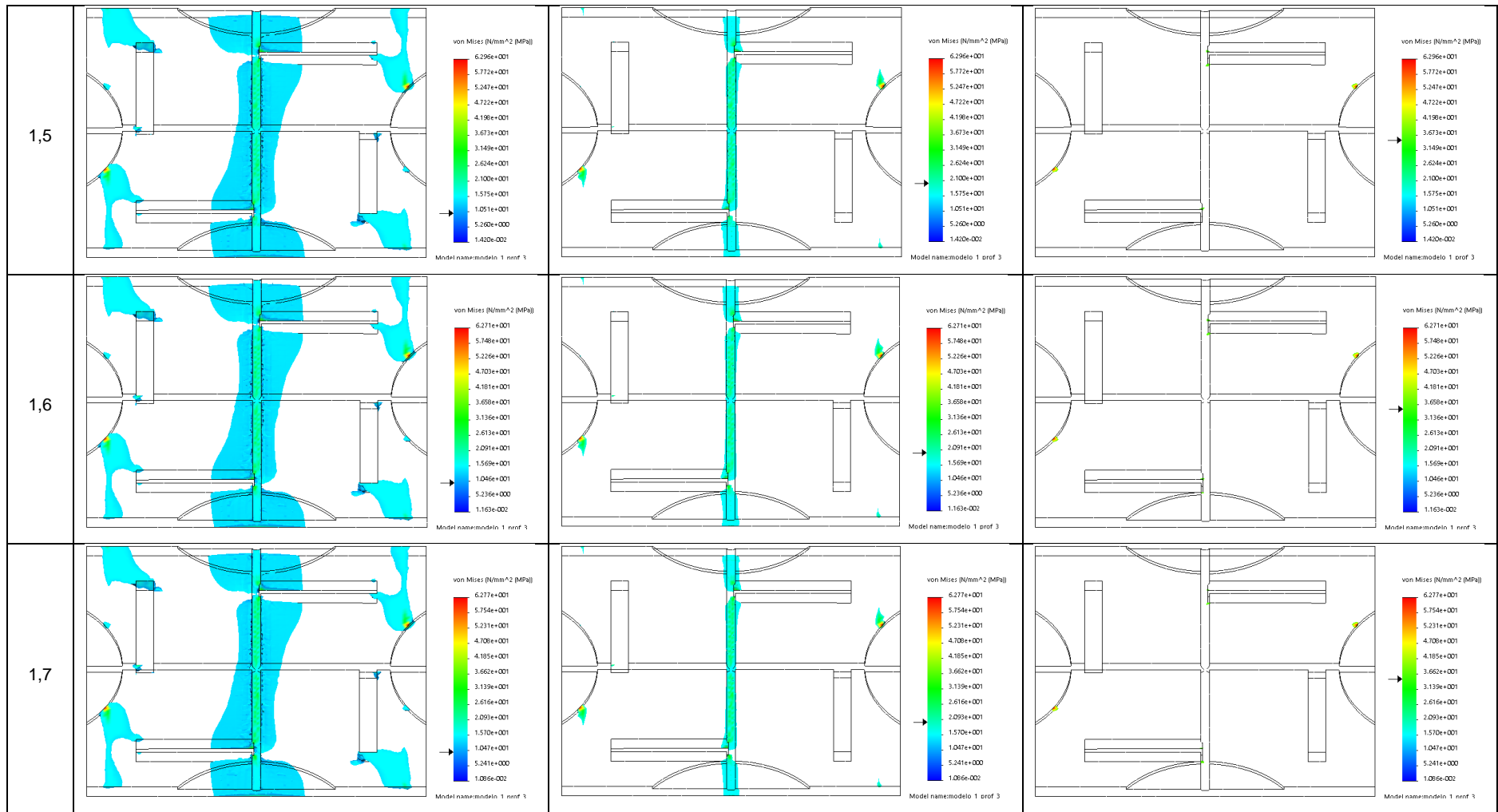


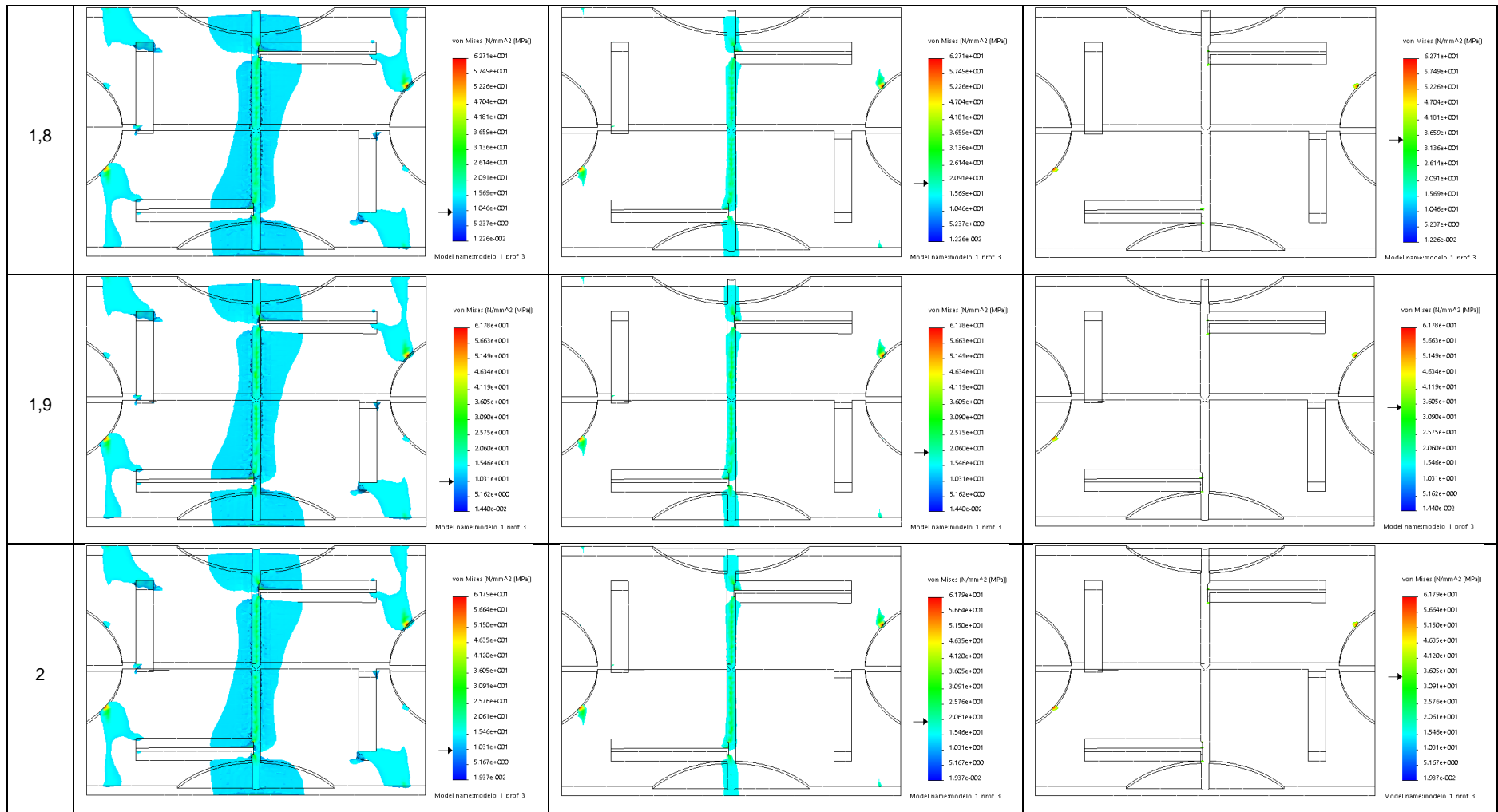


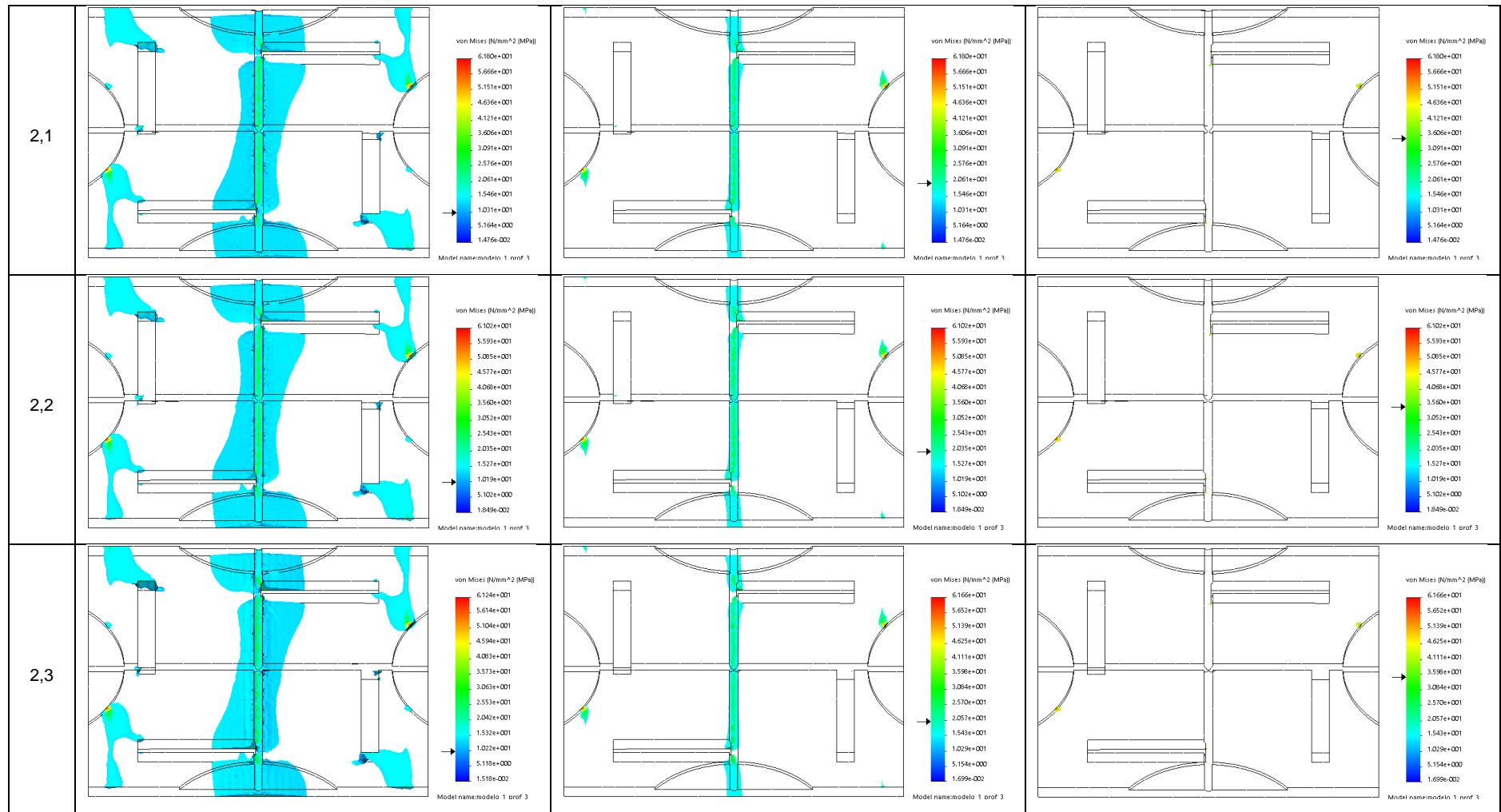


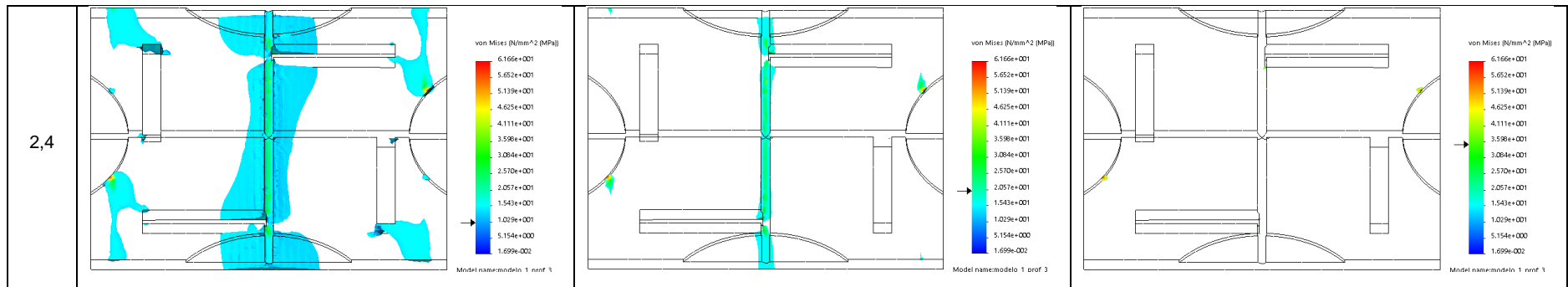


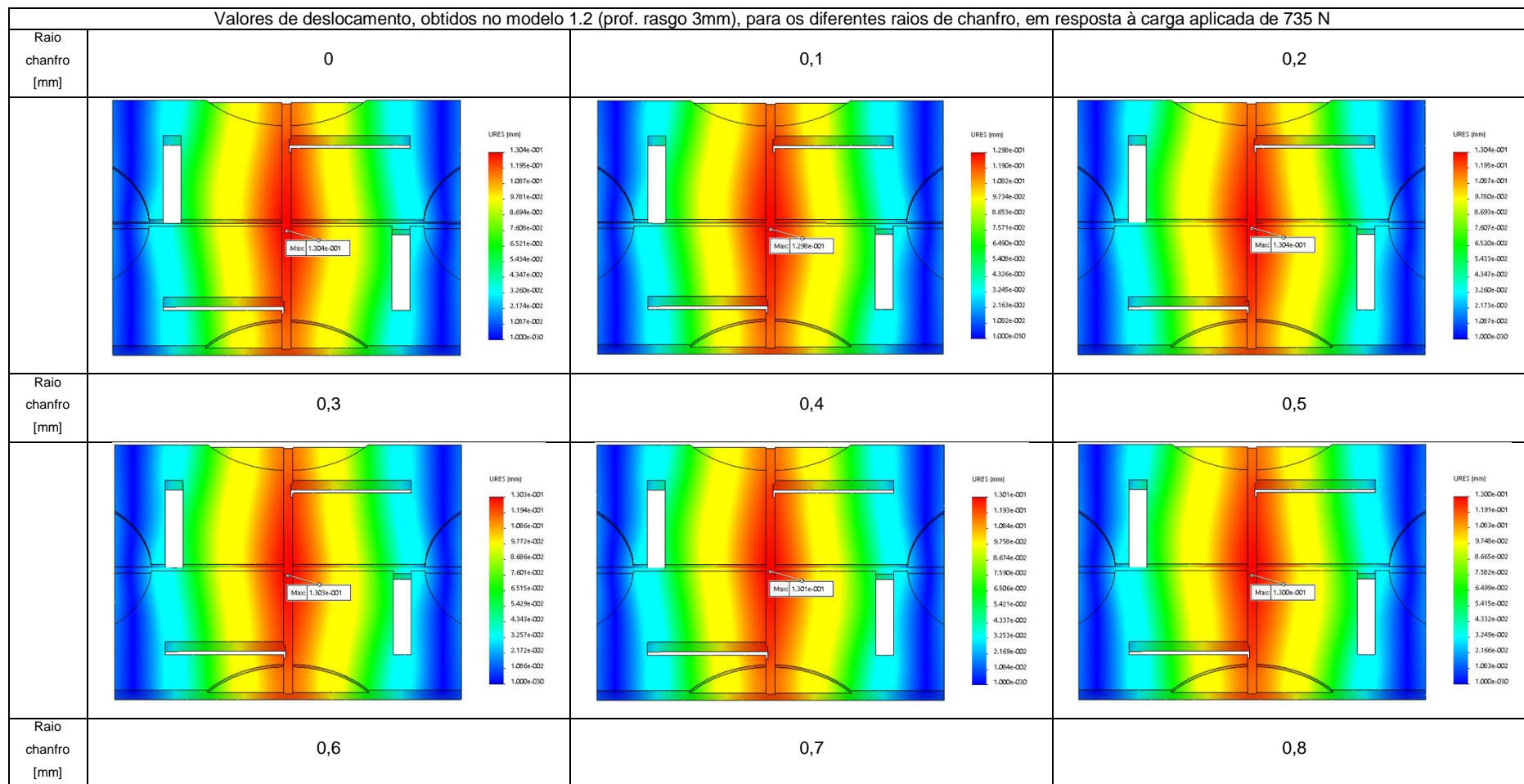


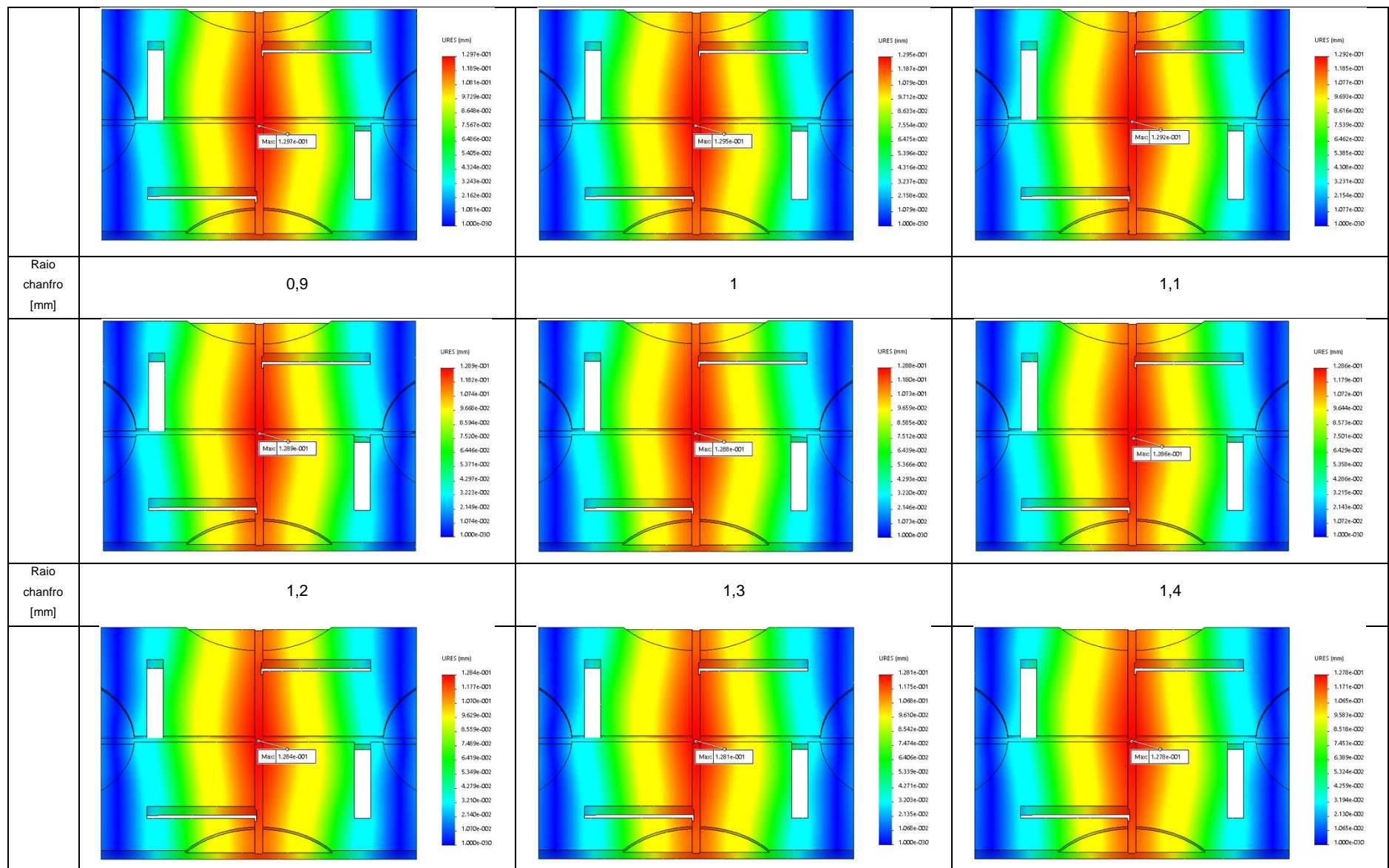


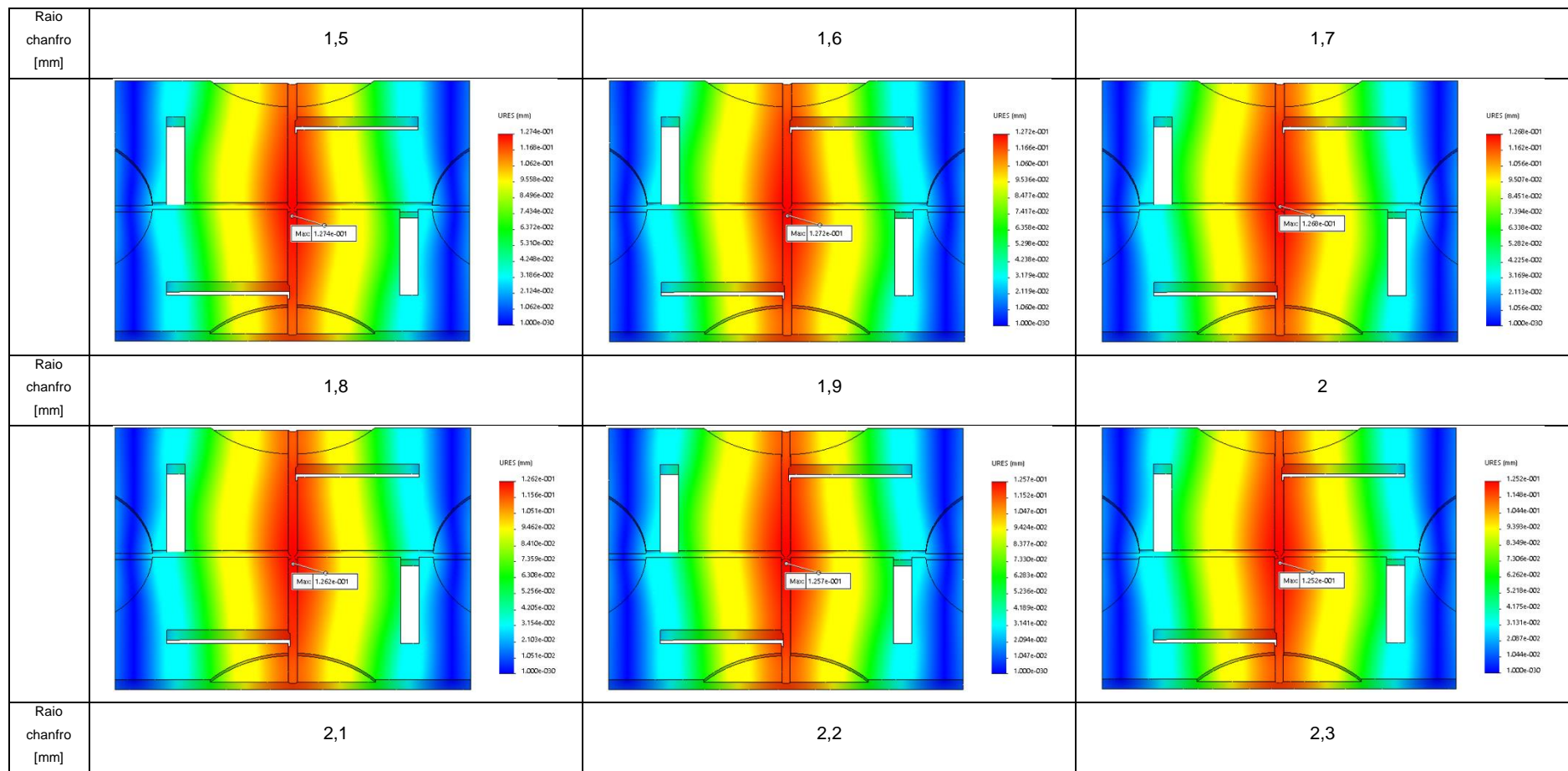


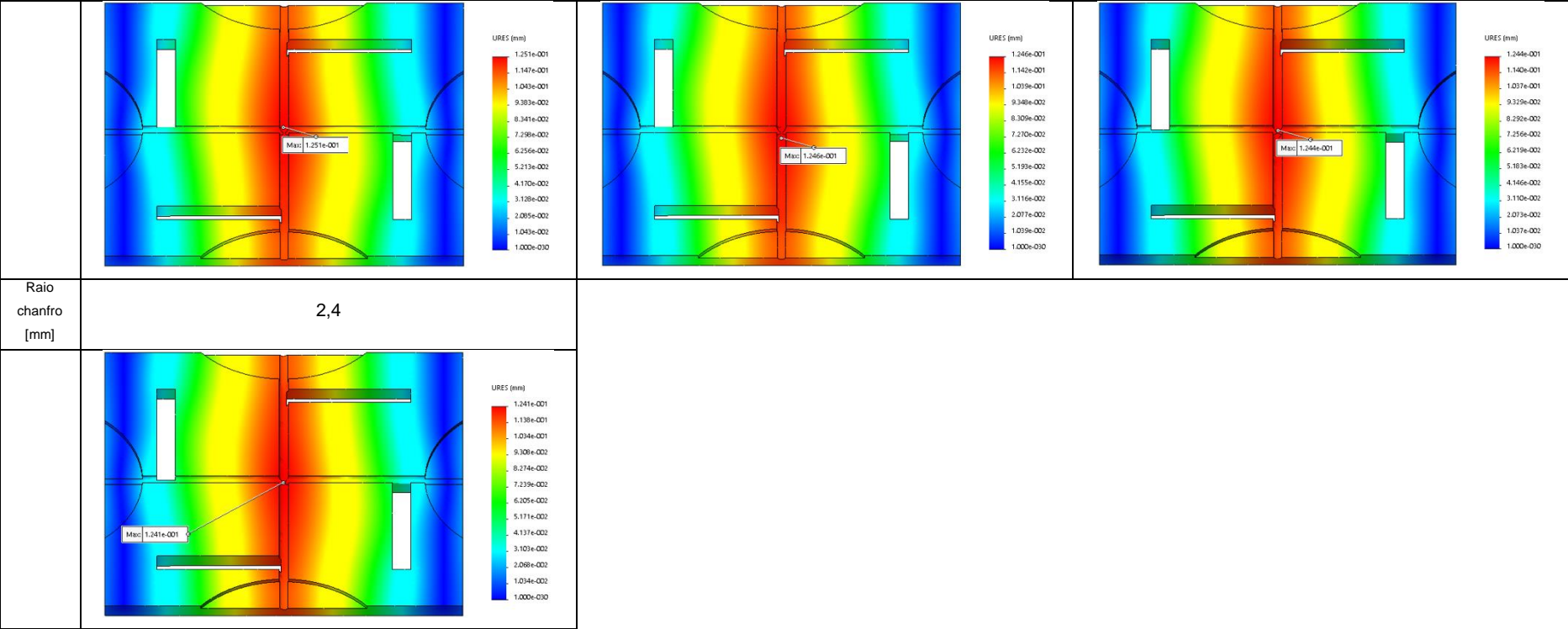








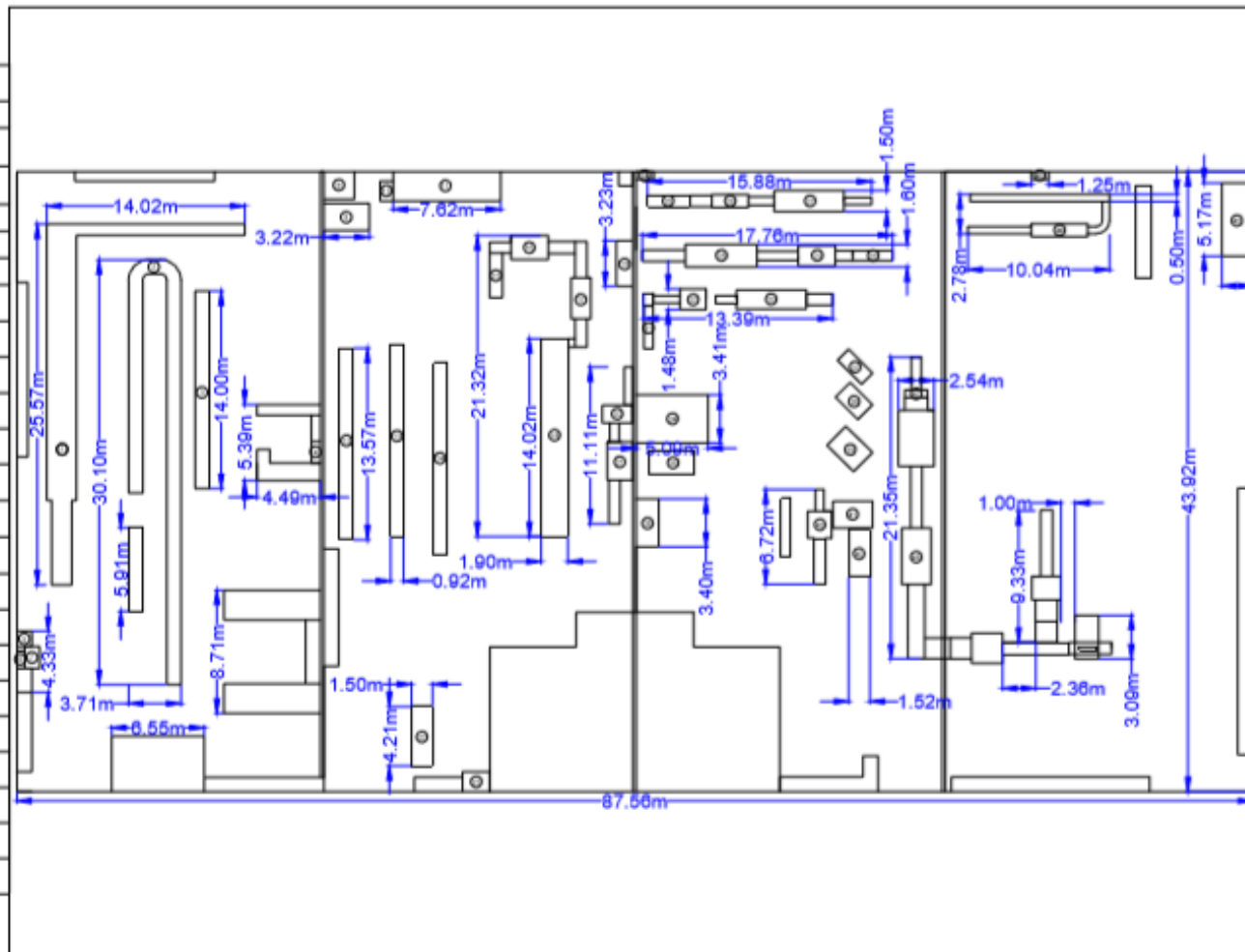




ANEXO 3. Layout da empresa.



| | Equipamento | Código |
|----|---------------------------|--------|
| 1 | Forno 1 | FT1 |
| 2 | Unidade de resfriamento 1 | US1 |
| 3 | Unidade de resfriamento 2 | US2 |
| 4 | Filtro 4 | FT4 |
| 5 | Forno 2 | FT2 |
| 6 | Filtro 5 | FT5 |
| 7 | Máquina de corte 1 | MC1 |
| 8 | Máquina de corte 2 | MC2 |
| 9 | Máquina de corte 3 | MC3 |
| 10 | Poliduro 1 | PL1 |
| 11 | Secador 7 | SC7 |
| 12 | Máquina de corte 4 | MC4 |
| 13 | Máquina de corte 5 | MC5 |
| 14 | Máquina de corte 6 | MC6 |
| 15 | Alimentador 1 | AL1 |
| 16 | Máquina de corte 7 | MC7 |
| 17 | Máquina de corte 8 | MC8 |
| 18 | Secador 8 | SC8 |
| 19 | Máquina de corte 9 | MC9 |
| 20 | Alimentador 2 | AL2 |
| 21 | Máquina de corte 10 | MC10 |
| 22 | Máquina de corte 11 | MC11 |
| 23 | Secador 9 | SC9 |



| | Equipamento | Código |
|----|---------------------------|--------|
| 24 | Filtro 3 | FT3 |
| 25 | Alimentador 3 | AL3 |
| 26 | Máquina de corte 12 | MC12 |
| 27 | Máquina de corte 13 | MC13 |
| 28 | Alimentador 4 | AL4 |
| 29 | Máquina de corte 14 | MC14 |
| 30 | Máquina de corte 15 | MC15 |
| 31 | Alimentador 5 | AL5 |
| 32 | Máquina de corte 16 | MC16 |
| 33 | Máquina de corte 17 | MC17 |
| 34 | Máquina de corte 18 | MC18 |
| 35 | Máquina de corte 19 | MC19 |
| 36 | Máquina de corte 20 | MC20 |
| 37 | Máquina de corte 21 | MC21 |
| 38 | Máquina de corte 22 | MC22 |
| 39 | Máquina de corte 23 | MC23 |
| 40 | Máquina de corte 24 | MC24 |
| 41 | Máquina de corte 25 | MC25 |
| 42 | Máquina de corte 26 | MC26 |
| 43 | Máquina de corte 27 | MC27 |
| 44 | Unidade de resfriamento 3 | US3 |
| 45 | Secador 10 | SC10 |
| 46 | Unidade de resfriamento 4 | US4 |
| 47 | Ventilador 1 | VT1 |